

# KEIHÄÄNHEITTOSUORITUKSEN BIOMEKANIikka

Poika- ja naisheittäjien vertailu

Ari Aarniovuori

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2010

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) AARNIOVUORI, Ari Atte	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 01.06.2010
	Sivumäärä 64	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi Keihäänheittosuorituksen biomekaniikka: Poika- ja naisheittäjien vertailu		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) HAUTANEN, Juha, lehtori		
Toimeksiantaja(t) VALLEALA, Riku, Viestintäpäällikkö, KIHU - Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KINNUNEN, Kimmo, Lajivalmentaja: Keihäs, SUL – Suomen Urheiluliitto ry.		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia keihäänheiton suoritustekniikkaa hyödyntäen plantaarisista paineista ja liikemuuttujista saatavia tietoja. Menetelmien avulla pyrittiin selvittämään oleellisia tekijöitä suuren keihään lähtönopeuden saavuttamiseksi, sekä merkitseviä eroja poika- ja naisheittäjien välillä. Suurimman mielenkiinnon kohteena olivat plantaaristen paineiden muuttujat. Tutkimuksessa koehenkilöinä oli kaksi poika- ja kaksi naisheittäjää, jotka olivat heittotulosten valossa lähes samantasoisia. Heittäjät suorittivat minimissään neljä onnistunutta heittosuoritusta kolmella eripituisella alkuvauhdilla. Kaikkiaan heittäjät suorittivat 52 heittoa. Heittosuoritukset taltioitiin analysoitavaksi Novel Pedar-X -paine pohjallisilla, kahdella NAC FX4 K4 – suurnopeuskaameralla, sekä Laveg -lasertutkalla. Lisäksi heittäjille suoritettiin kehonkoostumusanalyysi. Tulokset analysoitiin taulukkomuodossa ja eri muuttujien välille laskettiin korrelaatiot, jotta saatiin selville merkitsevät muuttujat. Keihään lähtönopeuteen korreloivat mm. etenemisnopeudet ristiaskelkontaktille (<math>r=.52</math>, <math>p&lt;.001</math>) ja tukiaskelkontaktille (<math>r=.48</math>, <math>p&lt;.001</math>) tultaessa, keskimääräisten maksimipaineiden myöhäisempi ilmeneminen tukiaskelkontaktissa (<math>r=.58</math>, <math>p&lt;.001</math>) ja ristiaskelkontaktin kesto (<math>r=-.41</math>, <math>p&lt;.001</math>). Lisäksi saatiin mielenkiintoinen yhteys lihasmassan suhteellisen määrän ja keihään lähtönopeuden välille (<math>r=.78</math>, <math>p&lt;.001</math>). Heittäjän voimatasoa kuvaa hyvin heittäjän tuottamien keskimääräisten maksimivoimien suhteuttaminen painoon. Hyvää suoritustekniikkaa kuvaavat tukiaskeleella päkiälle tuotetut suuret paineet. Pojat saavuttivat suuremmat keihään lähtönopeudet verrattuna naisiin, mutta selkeitä tekijöitä suuren keihään lähtönopeuden saavuttamiseksi ei tässä tutkimuksessa löytynyt. Kyse on todennäköisesti sukupuolten välisistä eroista voimainominaisuuksissa. Heittäjillä havaittiin erilaisia tekniikoita. Tällöin kyse on enemmänkin yksilöiden ominaisuuksista ja henkilökohtaisista vahvuuksista. Jatkossa olisi mielenkiintoista mitata enemmän heittäjien välisiä voimatasoja ja tutkia niiden yhteyttä keihään lähtönopeuteen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Keihäänheitto, keihäs, biomekaniikka, plantaariset paineet, liikeanalyysi		
Muut tiedot		



Author(s) AARNIOVUORI, Ari Atte	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 1.6.2010
	Pages 64	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title Biomechanics of javelin throw: Comparison of boy and female throwers		
Degree Programme Degree Programme in Wellness Technology		
Tutor(s) HAUTANEN, Juha, lecturer		
Assigned by VALLEALA, Riku, Communication Manager, KIHU - Research Institute for Olympic Sports KINNUNEN, Kimmo, Coach: Javelin, SUL – Finnish Athletics		
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final thesis was to study the technique of javelin throwing and determine the most important variables for high javelin release speed and significant differences between boy and female throwers. Important factors were determined by studying plantar pressures and javelin release parameters. Especially plantar pressures were the point of interest. Test persons in this study were two boy and two female throwers who were almost equal when looking at the throw results. Throwers accomplished the minimum of four successful throws with three different approach speeds. All in all the throwers made 52 throws which were analyzed. Plantar pressures were recorded with the Novel Pedar X in-shoe dynamic pressure measuring system. Release parameters were studied with two NAC FX4 K4 –high speed cameras. In addition, body composition analyses were done for the throwers.</p> <p>The results were analyzed in a table form and correlations were calculated between the variables. Relevant variables with high javelin release speed were approach speeds for the last two steps (<math>r=.52</math>, <math>p&lt;.001</math> and <math>r=.48</math>, <math>p&lt;.001</math>), later turn up of the overall maximum forces on the final step (<math>r=.58</math>, <math>p&lt;.001</math>) and the duration of the drive step (<math>r=-.41</math>, <math>p&lt;.001</math>). In addition, interesting connection between body muscle percent and javelin release speed was found (<math>r=.78</math>, <math>p&lt;.001</math>). Overall maximum pressures divided with body mass represent the throwers' strength level well. The technique of the throwers can be evaluated from the pressures generated in the hallux area. Boys got higher release speeds than females but no variable explained this. It is likely due to the strength-speed features between the sexes. As shown in this study high javelin release speeds can be achieved with various techniques. The technique depends a lot on individual strengths and features. In the future it would be interesting to measure more strength-speed-features between the sexes and the connection to the javelin release speed.</p>		
Keywords Javelin, javelin throw, biomechanics, plantar pressure, release parameters		
Miscellaneous		

## SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>TOIMEKSIANTAJAT .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus .....	7
2.2.	Suomen Urheiluliitto Ry.....	7
<b>3</b>	<b>KEIHÄÄNHEITON TEKNIikka .....</b>	<b>8</b>
3.1.	Alkuvauhti.....	8
3.2.	Heittoaskeleet.....	9
3.3.	Vetovaihe.....	11
<b>4</b>	<b>KEIHÄÄNHEITTOSUORITUKSEN BIOMEKANIikka .....</b>	<b>12</b>
4.1.	Etenemisnopeus .....	12
4.2.	Lihasuryhmien toimintajärjestys.....	13
4.3.	Alustaan kohdistuvat voimat .....	15
4.3.1	Maan reaktivoimat .....	15
4.3.2	Plantaariset paineet.....	17
<b>5</b>	<b>KEIHÄÄN LENTO .....</b>	<b>19</b>
5.1.	Lähtönopeus .....	19
5.2.	Kulmaominaisuudet.....	20
<b>6</b>	<b>SUKUPUOLTEN VÄLiset EROT .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>MITTAUSLAITTEISTO .....</b>	<b>23</b>

7.1. Pedar-X -paine pohjalliset.....	23
7.2. Suurnopeuskamerat .....	24
7.3. Tutka .....	25
7.4. Kehonkoostumusanalyysaattori .....	26
<b>8 MITTAUKSET .....</b>	<b>27</b>
8.1. Koehenkilöt.....	27
8.2. Mittausten toteutus.....	28
8.3. Mittausasetelma .....	28
<b>9 AINEISTON ANALYSOINTI.....</b>	<b>30</b>
9.1. Plantaariset paineet.....	30
9.2. 3-dimensionaalinen liikeanalyysi .....	31
9.3. Tilastolliset menetelmät .....	33
<b>10 TULOKSET .....</b>	<b>34</b>
10.1. Liikeanalyysi.....	34
10.1.1 Heittäjien väliset erot.....	34
10.1.2 Parhaiden heittojen vertailu .....	36
10.1.3 Eri lähestymisnopeuksien erot .....	37
10.2. Plantaariset paineet.....	39
10.2.1 Maksimipaineet ja voimatuottonopeus.....	39
10.2.2 Paineiden jakautuminen .....	43
10.3. Muuttujien väliset yhteydet .....	44
<b>11 POHDINTA .....</b>	<b>47</b>

11.1. Liikeanalyysin muuttujat.....	47
11.2. Plantaaristen paineiden muuttujat.....	49
11.3. Tulosten kriittinen tarkastelu .....	50
12 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
LÄHTEET.....	53
LIITTEET .....	55
Liite 1 : Eri lähestymisnopeuksien keskiarvojen muuttujat heittäjillä .....	55
Liite 2: Korrelaatiot kaikista heittosuorituksista .....	56
Liite 3: Korrelaatiot parhaista heittosuorituksista .....	57
Liite 4: Korrelaatiot poikien kaikista heitoista.....	58
Liite 5: Korrelaatiot naisten kaikista heitoista .....	59
Liite 6: Heittäjien parhaiden suoritusten painekäyrät.....	60
Liite 7: Heittäjien henkilökohtaiset korrelaatiot keihään lähtönopeuden kanssa.	61

## KUVIOT

KUVIO 1. Kuva keihään kannosta.....	8
KUVIO 2. 5-askeleen heittorytmi .....	9
KUVIO 3. Keihäänheittosuorituksen ristiaskel.....	10
KUVIO 4. Keihäänheittosuorituksen vetovaihe .....	11
KUVIO 5. Heittäjän eri nivelpisteiden nopeudet ja toimintajärjestys heiton vetovaiheen aikana .....	14
KUVIO 6. Alustaan kohdistuvat pysty – ja vaakavoimat yhdellä miesheittäjällä tuki- ja ristiaskelkontaktissa .....	16
KUVIO 7. Tyypillinen maksimaalisten paineiden ajoittuminen tukijalalla .....	18
KUVIO 8. Keihään kulmaominaisuudet .....	20
KUVIO 9. Novel Pedar-X -paine pohjalliset ja tiedonkerääjä.....	23
KUVIO 10. NAC FX 4 K4 -suurnopeuskamera .....	25
KUVIO 11. Laveg-lasertutka .....	25
KUVIO 12. Tutkimuksen koeasetelma ja aineiston kerääminen .....	29
KUVIO 13. Heittäjien täydellä alkuvauhdilla tehtyjen heittojen lähestymisnopeuksien keskiarvo eri mittauspisteissä tukiaskelkontaktille tullessa.....	35
KUVIO 14. Heittäjien parhaiden heittojen lähtönopeudet .....	37
KUVIO 15. Lähestymisnopeuksien keskiarvot tukiaskelkontaktille tullessa eri alkuvauhdeilla .....	38
KUVIO 16. Lähestymisnopeuden vaikutus keihään lähtönopeuteen .....	38
KUVIO 17. Heittäjien tuottamat keskimääräiset maksimipaineet tukiaskelkontaktilla eri lähestymisnopeuksilla .....	39
KUVIO 18. Voimantuottonopeudet painokiloa kohden tukiaskelkontaktilla eri lähestymisnopeuksilla .....	40
KUVIO 19. Ristiaskelkontaktin kesto ja keskimääräisen maksimivoiman ilmenemishetki täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista.....	42
KUVIO 20. Tukiaskelkontaktin kesto ja keskimääräisen maksimoiman ilmenemishetki täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista .....	42
KUVIO 21. Paineiden jakautuminen tukiaskelkontaktin aikana mediaaliselle ja lateraaliselelle puolelle täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista .....	43

KUVIO 22. Paineiden jakautuminen tukiaskeleen aikana kannalle ja päkiälle täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista.....	44
--	----

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kehonkoostumusanalysoinnista saatavat tulokset.....	26
TAULUKKO 2. Koehenkilöiden perustiedot .....	27
TAULUKKO 3. Tuloksissa käytetyt käsitteet ja plantaaristen paineiden analysoidut suoritusmuuttujat .....	31
TAULUKKO 4. Tuloksissa käytetyt käsitteet ja liikeanalyysin analysoidut suoritusmuuttujat .....	32
TAULUKKO 5. Parhaat heitot liikemuuttujien osalta .....	36
TAULUKKO 6. Keihään lähtönopeuteen korreloivat muuttujat eri otantojen suhteen .....	46



# 1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Suomi on perinteisesti menestynyt keihäänheitossa hyvin ja tästä syystä Suomessa on tehty paljon tutkimuksia keihäänheittosuorituksesta viime vuosikymmeninä. Tutkimuksia on tehty myös paljon maailmanlaajuisesti. Nykyään jokaisen huippuheittäjän suorituksista on tehty tarkkoja analyysseja, joista voidaan tunnistaa, seurata ja korjata virheitä heittosuorituksessa. Heittosuorituksista on useissa tutkimuksissa analysoitu maahan kohdistuvia voimia, liikemuuttujia, lihasaktiivisuuksia, sekä keihään lento-ominaisuuksia. Plantaarisia paineita on tutkittu vain muutamissa tutkimuksissa aikaisemmin. Nuoria heittäjiä ei tiettävästi ole tutkittu vastaavilla menetelmillä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia keihäänheiton suoritustekniikkaa hyödyntäen plantaarisista paineista ja liikemuuttujista saatavia tietoja. Plantaarisia paineita tutkitaan painepohjallisten avulla. Liikemuuttujia selvitetään suurnopeuskameroilla, sekä laser-tutkalla.

Opinnäytetyössä keskityttiin pääasiassa tutkimaan plantaarisia paineita joista voidaan saada selville lisätietoa heittosuoritukseen vaikuttavista muuttujista. Plantaarisia paineita on tutkittu monissa urheilulajeissa, mutta keihäänheittoon liittyen on tehty aikaisemmin vain muutamia tutkimuksia (Bartlett ym. 1995 ja Valleala 1999). Paineiden avulla voidaan arvioida heittäjien tasoeroa ja selvittää jalkojen toimintaa yksityiskohtaisemmin heittoaskelten aikana.

Tutkimuksessa oli koehenkilöinä kaksi nais- ja kaksi poikaheittäjää, jotka ovat aikaisempien heittotulosten valossa lähes samantasoisia. Tutkimuksessa heittäjät tekivät minimissään neljä onnistunutta suoritusta kolmella eripituisella lähestymisnopeudella, joista analysoitiin valitut muuttujat. Asetelmalla pyrittiin vertailemaan plantaarisia paineita ja liikemuuttujia ryhmien välillä. Yhdistämällä eri mittaustekniikoita saadaan arvokasta tietoa, jonka perusteella selvitetään syitä naisten ja poikien tuloskehitykseen ja pyritään saamaan selville olennaisia tekijöitä keihään lähtönopeuden kannalta. Lisäksi voidaan kehittää ja parantaa heittäjien yksilöllistä suoritustekniikkaa.

## **2 TOIMEKSIANTAJAT**

### **2.1. *Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus***

Kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU) on arvostettu huippu-urheiluvalmennuksen monitieteinen tutkimus-, kehitys-, ja palveluorganisaatio, joka kehittää yhteistyökumppaniensa kanssa huippu-urheilua (Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus. 2008). KIHU perustettiin keväällä 1990 Liikunnan ja kansanterveyden edistämissäätiön itsenäiseksi yksiköksi, jonka toiminta ajatuksena oli kilpa ja huippu-urheilun edistäminen. Vuoden 2000 alusta KIHU on toiminut Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimus- ja kehittämissäätiön alaisuudessa. (Kihun historia. 2009.)

Kilpa ja huippu-urheilun edistämistä KIHU toteuttaa innovatiivisella, eettisesti vastuullisella ja korkeatasoisella soveltavalla tutkimus-, kehitys- ja palvelutoiminnalla. Toiminnasta saatu tietotaito käytetään hyväksi tukemalla suomalaista huippuvalmennusta tarjoamalla valmentajille ja urheilijoille tietotaitoa urheilusuuritusten ja harjoittelun kehittämiseksi. KIHUn toimintaa ohjaa urheilun kansainvälinen menestys, eettisesti ja ekologisesti kestävä urheilu sekä tutkimuksen korkea laatu ja innovatiivisuus. (Kihun toiminta-ajatus. 2009.)

### **2.2. *Suomen Urheiluliitto Ry***

Suomen Urheiluliitto Ry (SUL) on suomalaisen yleisurheilun kattojärjestö, jonka toiminnan painopisteitä ovat kansainvälisen huippu-urheilumenestyksen saavuttaminen ja kotimaisen lasten ja nuorten sekä aikuisyleisurheilun kehittäminen. Erityisesti keihäänheitossa on panostettu kansainvälisen huippu-urheilumenestyksen saavuttamiseen. SUL on yksi kansainvälisen yleisurheiluliiton IAAF:n 211 jäsenestä. Liitolla on noin 800 jäsenseuraa, joissa on noin 30 000 aktiiviyleisurheilijaa. Liitto on perustettu vuonna 1906, jolloin sen nimi oli Suomen Valtakunnan Urheiluliitto (SUL 100 vuotta). Suomen yleisurheilun strategisena tavoitteena on aktivoida seuratoimintaa, lisätä

harrastajamääriä, parantaa imagoa, parantaa yleisurheilun olosuhteita ja vahvistaa huippu- ja kilpaurheilun asemaa. (FAKTAA – Suomen Yleisurheiluliitto ry. n.d.)

### 3 KEIHÄÄNHEITON TEKNIikka

#### 3.1. *Alkuvauhti*

Alkuvauhti on ehkä kaikista helpoin osuus hallita keihäänheittosuorituksessa. Yksinkertaisesti sanottuna se on sujuva ja kiihtyvä juoksu keihästä kantaen. Se on rento suoritus ilman lihasjännityksiä ja sen pitäisi tuottaa rytmi, joka mahdollistaa luontevan heittoakseleihin siirtymisen ja tasaisen kiihdytyksen keihään taakseviennin jälkeen. (Gorski 2003, 104–105.) Keihään kanto tapahtuu heittävän olkapään yläpuolella, lähellä korvaa ja mahdollisimman lähellä vartalon keskilinjaa (Kuvio 1). Keihään tulisi mukailla juoksun rytmiä osoittaen heittosuuntaan ollen joko kärki hieman alapäin tai vaakatasossa. (Utriainen 1987, 66.)



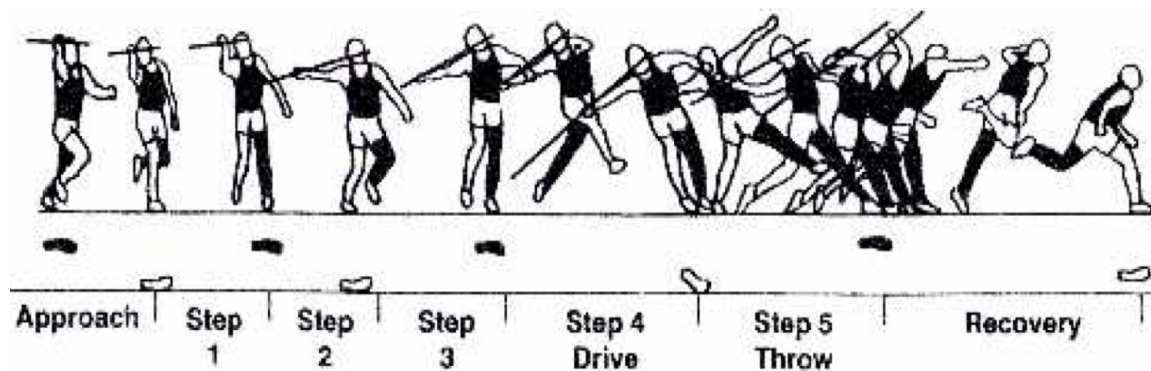
KUVIO 1. Kuva keihään kannosta (Tidow 2008, 30.)

Heittäjien alkuvauhdeissa on suuria yksilöllisiä eroja. Askelmerkkien käyttö ja tapa, jolla he lähtevät juoksuun vaikuttaa suuresti alkuvauhdin pituuteen. Lähtö voi tapahtua kävelystä tai välittömästi juosten. Osa heittäjistä käyttää hyvin tarkkaa askelmerkkiä, jolta he aloittavat juoksun. Osalla heittäjistä on ”sisäinen askelmerkki”, jolloin vauhdinotto perustuu sen hetkiseen tuntemukseen. Alkuvauhdin pituus vaihtelee 20–35 metriin ja sen aikana heittäjä ottaa 8–12 juoksuaskelta. (Utriainen 1987, 67) Alkuvauhdin tärkein tehtävä on välittää optimaalinen perusnopeus heittäjäkeihäs systeemiin. Huippuheittäjien lähestymisvauhti vaihtelee 5,5–7,6 metriä sekunnissa. (Tidow 2008, 30–31) Utriainen (1987, 67) toteaa, että alkuvauhdille tärkeintä on sen helppous, rentous, rytmi ja luonteva heittoakseleihin siirtyminen.

### 3.2. Heittoaskeleet

Alkuvauhdin jälkeen siirrytään mahdollisimman luontevasti heittoaskeliin. Heittoaskelissa käytetään 4-, 5- tai 6- askeleen rytmejä, joista 4- ja 5-askeleen rytmit ovat eniten käytössä. 5-askeleen rytmi kaikista käytetyin ja se on luonnollisin rytmi heittää askelten lukumäärän vuoksi. (Utriainen. 1987. 68) Heittoaskelilla on tarkoitus lisätä heittäjä-keihäs -systeemin nopeutta, jotta nopeus voidaan muuntaa vetovaiheessa keihään mahdollisimman suureksi lähtönopeudeksi (Tidow 2008, 30–31).

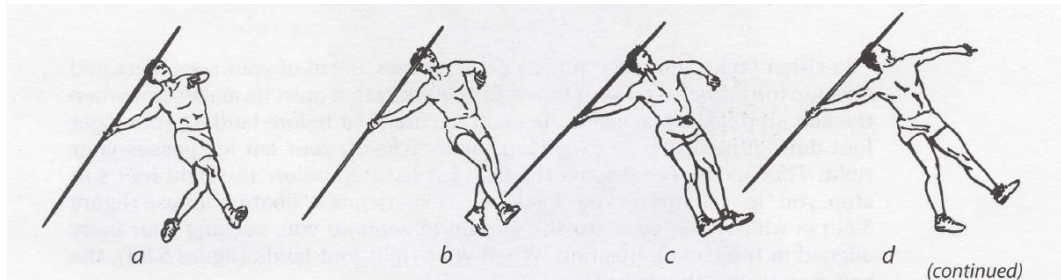
Heittoaskelten kahden ensimmäisen askeleen aikana keihäs viedään taakse, jossa se pyritään pitämään mahdollisimman kaukana. Samanaikaisesti vastakkainen olkapää kääntyy juoksusuuntaan ja eteneminen tapahtuu kylki edellä. Askelten aikana vauhtia tulisi vielä pystyä kiihdyttämään loppua kohden. Kiihdytyksessä korostuvat jalkojen voima- ja nopeusominaisuudet. Kiihdytystä ei kuitenkaan saa tehdä tekniikan kustannuksella. Liian kova vauhti aiheuttaa tehottomuutta vetovaiheessa ja liian hidas korostaa käsivedon osuutta. Käsiveto näkyy keihään rauhattomana lentona. (Utriainen. 1987. 68)



KUVIO 2. 5-askeleen heittorytmi (Stander a)

5-askeleen heittorytmissä (Kuvio 2) oikeakätisellä heittäjällä heittoaskeleet alkavat kun heittäjä saavuttaa askelmerkin oikealla jalallaan. Ensimmäisellä askeleella oikealla jalalla ponnistetaan voimakkaasti eteenpäin ja samanaikaisesti aloitetaan keihään taakseventi. Nämä toimenpiteet onnistuvat ainoastaan, jos ylävartalo johtaa juoksua. Toisella askeleella ponnistetaan vasemmalla jalalla, jolloin keihäs viedään suo-

raan taakse noin olkapään korkeudelle siten, että keihään kärki on lähellä olkapää-  
tä leuan korkeudella tai sen alapuolella. Kolmannella askeleella (oikealta vasemmal-  
le) työnnetään vasenta jalkaa pitkälle eteenpäin, jotta saadaan aikaan leveä asento.  
Leveällä asennolla vauhditetaan oikean jalan tuontia ristiaskelhypähdykseen. Kolmen  
ensimmäisen askeleen aikana pyritään saamaan aikaiseksi rytmikäs, vaivaton ja voi-  
makas ylävartalon johtama eteneminen. (Utriainen 1987, 68–69)

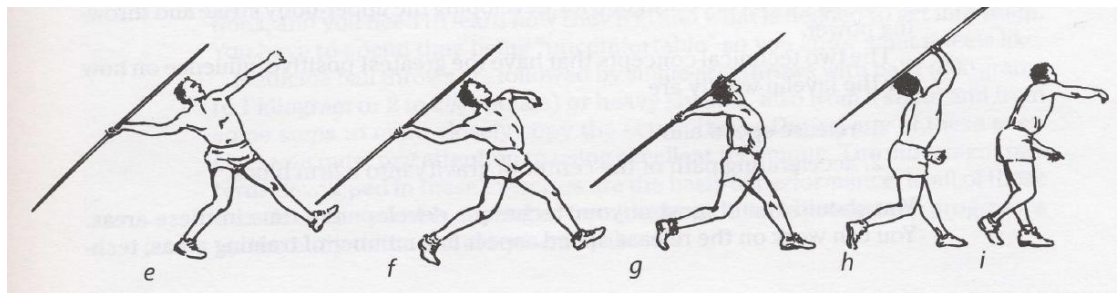


**KUVIO 3. Keihäänheittosuorituksen ristiaskel (Groski 2003, 108.)**

Heiton neljäs askel on ristiaskel (Kuvio 3). Ristiaskelen tulisi olla 30–60% pidempi kuin tukiaskeleen. Lyhyempi tukiaskel on tärkeä, jotta saavutetaan vetoasento nopeasti, eikä menetetä etenemisnopeutta. (Tidow 2008, 33). Heittäjälle on tärkeää säilyttää hankittu etenemisnopeus ristiaskelen aikana. Tämä onnistuu pitämällä massakeskipiste samalla vertikaalisella tasolla ja askel suhteellisen matalana (Gorski 2003, 102–103). Kolmannelta askeleelta ponnistetaan vasemmalla jalalla ojentaen se täydellisesti varpaita myöten. Oikeaa polvea ja vasenta olkapäätä ”syötetään” aktiivisesti eteenpäin. Ponnistuksella pyritään aktiiviseen ja aggressiiviseen ristiaskelhypähdykseen. Heti kun vasen jalka on hypähdyksen aikana siirtynyt kauas eteen ristiaskeljalalla (oikea) tuodaan päkiävoittoisesti tai jalan oikea sivu edellä maahan tukemaan. Ristiaskeljalalla on kääntynyt 30–45° heittosuuntaan nähden oikealle. Välittömästi oikean jalan tultua maahan pyritään aktiivisesti vasemmalle tukijalalle. Askel ristiaskeljalalta tukijalalle on heiton viides askel. Tukijalka tuodaan maahan kantapää edellä tai koko jalkapohjalle. Tukijalka ja vartalo muodostavat suoran linjan ns. tukijalan, jonka päältä ja yli veto tapahtuu. (Utriainen 1987, 70)

### 3.3. Vetovaihe

Vetovaiheen ja heittoaskeleiden välinen raja on vaikea vetää ja ne menevät osittain päällekkäin (Utriainen 1987, 72). Gorskin (2003, 108) mukaan vetovaihe (Kuvio 4) alkaa kun ristiaskeljalka (oikea) tulee tukipisteeksi. Oikea polvi laskee hiukan, jotta lantio pääsee liikkumaan oikean jalan eteen vasemman jalan vetämänä. Käsien pitäisi olla levitettyssä T-asennossa heittosuunnan mukaisesti. Oikea jalka pyörähtää varpaille ja vasen käsi laskee olkapään alapuolelle. Vartalon vasen puoli osoittaa suoraan heittosuuntaan ja vasen kantapää muodostaa suoran linjan taaksepäin nojaavan olkapään kanssa, kulma on 10–20 astetta. Vasen jalka laskeutuu tukijalaksi ja kehon painopiste siirtyy vasemmalle puolelle vartaloa. Vartalon vasemman puolen tulee olla jäykkänä. (Mts. 108–109)



KUVIO 4. Keihäänheittosuorituksen vetovaihe (Gorski 2003, 109.)

Tukijalka aiheuttaa lantion oikean puolen pyrähtämisen eteenpäin vetäen rintakehän mukanaan. Rintakehä lukittuu lantion päälle, jolloin rinta ja olkapää vedetään linjan ylitse. Heittokäsi saa venyä ja raahata olkapään takana mahdollisimman paljon. Kyy-närpää lingotaan olkapään päälle vetäen kättä ja keihästä mukana. Käsi ojennetaan suoraksi, jolloin keihääseen saadaan vaikutettua viimeisen kerran. Koko liike on ankuroitu ja kiihdytetty vasemman jalan varassa. Tästä muodostuu keihään dynaaminen takaa-ajo liike vartalon kiihdyttämänä. Ennen kuin veto lähtee asento muistuttaa jännitettyä joustaa tai käänteistä C:tä (Mts. 108–109)

Vetovaiheessa tukijalan tullessa maahan heittäjän nopeus on jopa 7 m/s ja tästä johtuen tukijalkaan kohdistuu suuria mekaanisia kuormia törmäyksessä. Korjuksen (1987, 56.) mukaan miesheittäjillä noin 400 kiloa. Mitä vähemmän polvi antaa liik-  
keessä periksi sitä paremmin momentti saadaan siirrettyä ylempiin kehon osiin. Tuki-

jalan polvinivelen kulma ei saisi laskea alle 150 asteen. (Tidow 2008, 35.)

Hyvä keihäänheiton suoritustekniikka muodostuu kehon painopisteen horisontaalisen nopeuden ja ojentuneen kyynärnivelen ylläpitämisestä, sekä kehon painopisteen maksimaalisesta hidastumisesta tukiaskeleleen aikana. Juuri ennen vetovaiheen alkua tärkeää on oikean jalan maahantulo, hartia-lantio-linjan valmistava kierto ja vasemman jalan polvinivelen ojentaminen ennen tukijalan maahantuloa. Näin mahdollistetaan ylävartalon optimaalinen kierto. (Ihalainen 2005, 33)

## 4 KEIHÄÄNHEITTOSUORITUKSEN BIOMEKANIikka

### 4.1. *Etenemisnopeus*

Utraisen (1987, 63) mukaan hyvälle keihäänheittotekniikalle on ominaista loppua kohden kiihtyvä vauhti. Alkuvauhdin hankintatapa vaihtelee heittäjäkohtaisesti, eikä sillä ole havaittu olevan yhteyttä heiton pituuteen (Mts. 63). Kuitenkin vuoden 2005 MM-kisoissa havaittiin huomattava korrelaatio ( $r=.742$ ,  $p<.001$ ) heiton pituuden ja alkuvauhdin välillä (Murakami, Tanabe, Ishikawa, Isolehto, Komi & Ito 2006, 69.). Maailmanluokan heittäjien alkuvauhti on 5,5–7,6 m/s ja kyseisen nopeuden saavuttamiseen riittää muutama askel (Tidow 2008, 30.).

Kahden viimeisen heittoaskelen aikana vauhtia tulisi vielä pystyä lisäämään hiukan. Vuoden 1984 olympiafinalisteilla mitattiin heittoaskelten aikana miehillä  $5,19\pm0,62$  m/s ja naisilla  $5,41\pm0,67$  m/s. Kehon painopisteellä tulisi olla suurin nopeutensa tullessa tukivaiheeseen. Vastaavat arvot juuri ennen tukijalan maahantuloa ovat miehillä  $5,28\pm1,92$  m/s ja naisilla  $5,36\pm0,90$  m/s. Tidowin (2008, 33.) mukaan ristiaskelkontaktin aikana heittäjä menettää hiukan etenemisnopeuttaan ja tukivaiheeseen tullessa heittäjän etenemisnopeus on 6-7,5 m/s. Heittoaskelten aikana voidaan nopeutta huomattavasti lisätä, jos juostaan lantio valmiiksi heittosuuntaan kääntyneenä. Tämä vaikeuttaa kuitenkin vetovaiheen suorittamista ja oikeaa heittotekniikkaa. (Utraiainen 1987, 54)

Bartlett, Müller, Lindinger, Brunner ja Morris (1996, 63) mittasivat heittäjien keskimääräiseksi horisontaaliseksi nopeudeksi vetovaiheen alkaessa 6,48 m/s ja keihään irrotessa 3,53 m/s. Heittäjä siis menetti horisontaalisesta nopeudestaan 45,5 % vetovaiheessa. Nopeuden menetys johtaa alhaalta ylöspäin suuntautuvaan kineettiseen ketjureaktioon, jonka lopputuloksena keihäälle saadaan suuri, jopa 31 m/s, lähtönopeus (Tidow 2008, 38). Keihään lähtönopeudeksi mitattiin  $27 \pm 0,90$  m/s. (Mts. 62)

Osakan MM-kisoissa 2007 mitattiin 12 miesfinalistin etenemisnopeuksia. Ristiaskeleella tultaessa heittäjien nopeus oli keskimäärin  $6,52 \pm 0,33$  m/s. Tukijalan kontaktissa nopeus nousi  $5,98 \pm 0,47$  m/s. Nopeasti tukijalan kontaktin jälkeen nopeus laski keihään lähtöhetkeen  $3,44 \pm 0,36$  m/s eli horisontaalista nopeutta menetettiin 42,3 %. Keihään lähtönopeudeksi saatiin keskimäärin  $28,8 \pm 0,6$  m/s. Mittauksissa havaittiin korrelaatio ( $r = .596$ ,  $p < .05$ ) etenemisnopeuden ja heiton pituuden välillä ristiaskelelta kontaktille saavuttaessa. (Tauchi, Murakami, Endo, Takesako & Gomi 2008. )

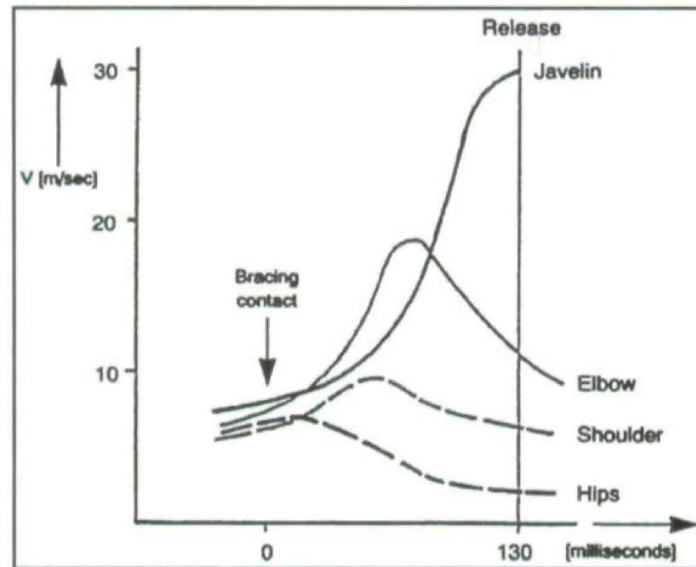
#### **4.2. *Lihasuryhmien toimintajärjestys***

Parhaan mahdollisen heittotuloksen saavuttamiseksi keihääseen tulisi vaikuttaa vetovaiheessa optimaalisen lentoradan suuntaisesti mahdollisimman pitkään ja mahdollisimman suurella voimalla (Utriainen 1987, 55). Tukijalan kontakti aiheuttaa nivellissä nousevan liikkeen alhaalta ylöspäin. Tämän ketjureaktion vaikutuksesta liikuttava massa pienenee huomattavasti vaihe vaiheelta ja avoimen kineettisen ketjun päässä eli kädessä ja keihäässä saavutetaan huomattava kiihtyvyys. Liike on aaltomainen ja muistuttaa piiskaniskua. (Tidow 2008, 38). Kun keihäälle halutaan tuottaa maksimaalinen lähtönopeus, tulee lihasryhmien toiminnan noudattaa seuraavaa toimintajärjestystä: tukijalan reisi, kääntyvä lonkka, vartalo, hartiat, kyynärvarsi, kämmen ja keihäs (Utriainen 1987, 55).

Vetoliikkeessä kuvataan olevan kaksi akselisysteemiä; tukijalan yli ja hartioitten, kyynärpäähän sekä lantion ympäri. Näiden systeemien toiminta perustuu saranamomentin



ja akselimomentin periaatteisiin. Tukijalan yli tapahtuvat liikkeet kiihtyvät tukipuolen jarrutuksen seurauksena sekä kiertoakseleitten (tukipuolen lantio, heittokäden kyynärpää ja tukipuolen hartia) ympäri tapahtuvat liikkeet synnyttävät kiertomomentteja, jotka lopulta liikuttavat keihästä kiihdyttäen sitä. (Mts. 55)



**KUVIO 5.** Heittäjän eri nivelpisteiden nopeudet ja toimintajärjestys heiton vetovaiheen aikana (Tidow. 2008, 32.)

Kuviossa 5 on havainnollistettu heitossa tapahtuvaa ketjureaktiota nivelpisteiden nopeuden ja ajan suhteen lantiossa, olkapäässä, kyynärpäässä, sekä viimeiseksi heittokädessä ja keihäessä, sekä niiden ilmenemisajankohdat. Kuvaaja alkaa tukijalan osuessa maahan (0 ms) ja loppuu keihään irtoamishetkeen (130 ms). Kuvaajasta nähdään selkeästi kuinka ruumiinosat saavuttavat huippunopeutensa järjestyksessä alkaen lantiosta edeten vaihe vaiheelta keihääseen. Lisäksi käyrien jyrkkyys kasvaa jatkuvasti eli seuraavan vaiheen kiihtyvyys on edellistä vaihetta suurempi ja nopeus on suurimmillaan ennen hidastumista. (Tidow. 2008. 38) Aaltomaisessa liikkeessä edellisen vaiheen stabilointi on oleellista, jotta seuraavan vaiheen kiihdytys voidaan tukea siihen ja saavuttaa kullekin ruumiinosalle maksimaalinen nopeus (Gorski 2003, 109). Morrisin, Bartlettin ja Fowlerin (1997. 32.) mukaan jopa 70 % keihään lähtönopeudesta kehitetään viimeisen 50 ms aikana.

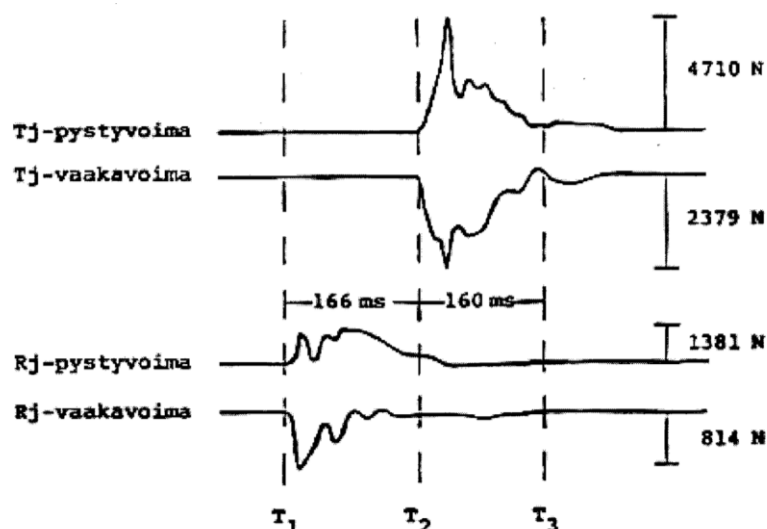
Campos, Brizuela ja Ramon (2004) tutkivat vuoden 1999 MM-kisojen finalistien heit-toja. Heitot voitiin jakaa valmistelevaan, ristiaskellelta tukijalalle ja tukijalalta keihään irtoamiseen eli vetovaiheeseen. Valmistelevan vaiheen kesto vaihteli 140–260

ms ja vetovaihe 100–140 ms. Korjuksen (1988, 71) mukaan vetovaiheeseen kulu-  
nut aika ennustaa keihään lähtönopeutta ( $r=.50$ ). Tauchi ja muut (2008, 5.) mittasivat  
Osakan MM-kisoissa valmistelewan vaiheen kestoksi  $194\pm34$  ms ja vetovaiheen kes-  
toksi  $124\pm14$  ms. Heittotekniikoita voitiin tunnistaa kaksi, jotka erosivat suuresti val-  
mistelewan vaiheen kestossa. Vetovaiheessa erot olivat pieniä. Kaikkien heittäjien vä-  
lillä oli yli 10 % eroja nivelten maksiminopeudesta keihään irtoamiseen. Suurimmat  
16 % erot tulivat olkapään maksiminopeudessa. Keskiarvot keihään irtoamiseen oli-  
vat lantiosta 130 ms, olkapäästä 90 ms ja kyynärpäästä 60 ms (Campos ym. 2004, 49–  
50).

### **4.3. Alustaan kohdistuvat voimat**

#### **4.3.1 Maan reaktiovoimat**

Alustaan kohdistuvia reaktiovoimia ja paineita on tutkittu monissa eri lajeissa, kuten  
kävelyssä, juoksussa, kolmiloikassa ja keihäänheitossa. Reaktiovoimakuvaajat ovat  
samankaltaisia kaikissa lajeissa. Kuvaajista voidaan havaita kolme voimapiikkiä. En-  
simmäinen niin sanottu passiivinen vaihe, joka syntyy jalan ensikontaktista painele-  
vylle. Sitä seuraa sulava maksimivoimapiikki eli aktiivinen hidastus ja viimeisenä työn-  
tövoima. (Deporte & Van Gheluwe 1988, 577) Keihäänheitossa heittoaskelten maa-  
han kohdistuvia reaktiovoimia ovat tutkineet voimalevyjen avulla Deporte & Van  
Gheluwe (1988), Korjus (1988), Hurrion, Dysonl, Hale ja Janaway (2002), sekä Valleala  
(2002).



KUVIO 6. Alustaan kohdistuvat pysty – ja vaakavoimat yhdellä miesheittäjällä tuki- (Tj) ja ristiaskelkontaktissa (Rj) (Korjus 1988, 64)

Korjus (1988, 64–73) analysoi kahden viimeisen askeleen aikana alustaan kohdistuvia pysty- ja vaakavoimia (Kuvio 6). Ristiaskeljalan maksimipystyvoima oli eräällä heittäjällä 1381 N, tukijalan maksimaalinen pystyvoima 4710 N ja tukiaskelen keskimääräinen vertikaalinen työntövoima 1825,6 N. (Mts. 64–73) Deporten ja Van Gheluwen (1988, 577) tutkimuksessa vastaavat maksimipystyvoimat olivat: ristiaskel 3780 N (5,0 x BW), tukiaskel 5500 N (7,2 x BW) ja työntövoima 2250 N. Hurrión ja muut (2002, 114) mittasivat hiukan pienempiä voimia 2,36 x BW ja 7,05 x BW. Lisäksi Valleala (2002, 47) on mittasi seuraavat arvot yhdelle heittäjälle: ristiaskel 2941,6 N, tukiaskel 6023,4 N ja työntövoima 2656,6 N.

Tukijalan maksimipystyvoima ja tukijalan maksimaalinen resultanttivoima ( $\bar{x} = 7283,6$  N) olivat vahvasti yhteydessä keihään lähtönopeuteen  $r = .72$  ja  $r = .67$ . Valleala (2002) ei vastaavaa korrelaatiota saanut. Ristiaskelen maksimipystyvoiman ajankohta (-183 ms) korreloi positiivisesti keihään lähtönopeuteen ( $r = .61$ ), kun taas voiman riippuvuus lähtönopeuteen oli negatiivinen ( $r = -.53$ ,  $p < .01$ ). Tukiaskelkontaktin keskimääräinen vertikaalinen työntövoima oli selkeästi yhteydessä ( $r = .59$ ) keihään lähtönopeuteen. Työntövoiman yhteyden havaitsi myös Valleala (2002, 48.) hiukan suuremmalla korrelaatiolla ( $r = .86$   $p < .05$ ). Voimien resultanttivoimat eivät olleet yhteydessä lähtönopeuteen yhtä vahvasti kuin vastaavat absoluuttiset arvot. Tämä korostaa suuren törmäysvoiman tärkeyttä. (Korjus 1988, 64–73)

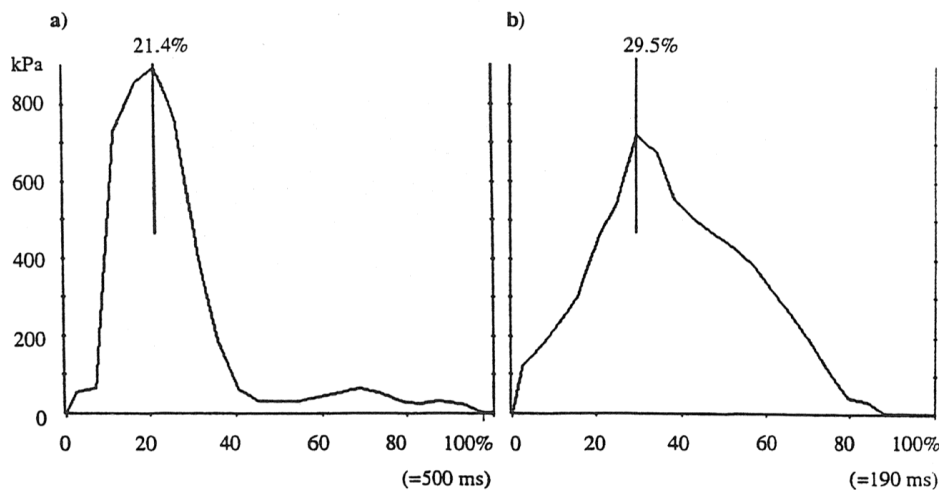
Suuri ristiaskelkontaktin pystyvoima alentaa keihään lähtönopeutta. Alhaisella ristiaskelkontaktin voimalla varmistetaan, ettei etenemisnopeus laske ja heittäjä saa suuren tukijalan törmäysvoiman. Törmäysvoiman olisi parasta suuntautua pystysuuntaan, jolloin heittäjä pystyy siirtämään voiman kineettisen ketjun kautta tehokkaasti keihäaseen. (Korjus 1988, 72–77) Tukijalan suuri ensimmäinen voimapiikki hidastaa heittäjän horisontaalista nopeutta liian aikaisin ennen kuin tukeva koko jalkapohjan kontakti on saavutettu. Suuri tukijalan maksimipystyvoima kasvattaa tukiaskelkontaktin keskimääräistä vertikaalista työntövoimaa. Työntövoima kuvaa heittäjän tukijalan voimatasoa hyvin. (Valleala 2002, 57–61)

#### 4.3.2 Plantaariset paineet

Plantaarisia paineita ovat tutkineet keihäänheitossa painepohjallisten avulla Bartlett, Müller, Rascher, Lindinger ja Jordan (1995), sekä Valleala (1999). Bartlett ja muut (1995, 173) laskivat resultanttivoimat epäsuorasti askelkontaktien plantaarisista paineista ja saivat tukijalan kokonaisvoimaksi  $2,75 \times BW$  ( $BW$  = heittäjän massa) ja ristiaskeleella  $2,65 \times BW$ . Saadut arvot ovat huomattavasti pienemmät kuin Deporten ja Van Gheluwen tutkimuksessa johtuen monista eri muuttujissa mittauksissa. (Mts. 173)

Vallealan (1999, 23–25) tutkimuksessa saatiin keskimääräiseksi maksimipaineeksi ristijalalle  $18,3 \text{ N/cm}^2$  ja tukijalalle  $26,3 \text{ N/cm}^2$ . Suurimmat mitatut paineet olivat  $21,1 \text{ N/cm}^2$  ja  $33,8 \text{ N/cm}^2$ . Tukiaskelkontaktissa voimien keskihajonta oli suurin ja keskimääräiset maksimipaineet ajoittuivat aikaisemmin muihin askelkontakteihin verrattuna. Tämä korosti tukiaskeleen törmäävyyttä ja nopeaa voimantuottoa. Mittauksessa oli muunnettu paineet voimiksi ja suurimmat voimat olivat ristiaskeleella 4162 N ja tukiaskeleella 6668 N ( $6,6 \times BW$ ). Paineet olivat samaa suuruusluokkaa Korjuksen (1988), Deporten ja Van Gheluwen (1988) kanssa. (Valleala 1999, 23–25) Bartlett ja muut (1995, 168) mittasivat huippujen keskimääräisiksi maksimipaineiksi ristijalalle  $32,0 \text{ N/cm}^2$  ja noviiseille  $18,9 \text{ N/cm}^2$ . Tukijalalle huiput saivat  $39,7 \text{ N/cm}^2$  ja noviisit  $24,2 \text{ N/cm}^2$ . Maksimaalinen saavutettu kokonaispaine sen sijaan oli  $96,6 \text{ N/cm}^2$ . (Mts. 168)

Plantaarisista paineista voidaan havaita heittäjien tasoero. Paremmat heittäjät pystyivät tuottamaan suuremmat yksittäiset paineet jalkapohjan etuosaan. Paremmilla heittäjillä oli myös suuremmat keskimääräiset maksimipaineet heittoaskelissa, kuin heikommilla heittäjillä. Ratkaisevimmassa asemassa oli kuitenkin tukiaskeleen aikainen voimantuotto. Jalkapohjan alueella havaittiin noin 45 % suuremmat maksimaaliset paineet mediaalisella puolella kuin lateraaliosella. (Valleala 1999, 23–33)



**KUVIO 7. Tyypillinen maksimaalisten paineiden ajoittuminen tukijalalla (Bartlett 1995, 171.)**

Bartlett ja muut (1995, 167–175) ovat todenneet (Kuvio 7) paremman tason heittäjien (a) maksimivoimien ajoittuvan aikaisemmin niin tukiaskele- kuin ristiaskelkontaktissa verrattuna noviiseihin (b). Ristiaskelkontaktissa keskimääräinen paine keskipiste oli huipuilla alemman tason heittäjiä edempänä. Paine keskipisteissä ei muuten havaittu merkittäviä eroja ryhmien välillä, vaihtelu oli yksilöllistä. (Mts. 167–175)

Merkittävimmät korrelaatiot keihään lähtönopeuden kanssa saatiin ristiaskellelle ponnistavan (vasemman)  $r=.99$  ( $p<0.01$ ) ja ristiaskeljalan (oikean)  $r=.96$  ( $p<0.05$ ) keskimääräisten maksimaalisten paineiden kanssa. Tulos eroaa Korjuksen (1988, 64–73.) saamaan tulokseen, jonka mukaan suuret vertikaalivoimat ristiaskelkontaktissa vähentävät keihään lähtönopeutta. Tukiaskelekontaktissa keskimääräisten maksimaalisten paineiden ajoittuminen korreloi ( $r=.95$ ,  $p<0.05$ ) selkeästi lähtönopeuteen, sen sijaan paineiden suuruus ei. Paremmat heittäjien vetomatka on pidempi ja käsi ”odottaa” pidempään heittoa, joten ajoittuminen on myöhempää. (Valleala 1999, 23–33)

Korrelaatio havaittiin myös tukiaskeleen keskimääräisten maksimaalisten paineiden ja vetovaiheen jälkeisen lantion nopeuden välillä. Tukiaskeleen keskimääräisten mak-

simaalisten paineiden ja ristiaskleen maksimaalisen voimantuottonopeuden välillä oli suuri negatiivinen korrelaatio ( $r = -.96$ ,  $p < .05$ ). Tarkoittaa että mitä pienempi voimantuotto ristiaskleessa, sitä suurempi voima saadaan tukiaskeleella. Tämä tukee osittain Korjuksen (1988, 64–73.) saamaa negatiivista korrelaatiota ristiaskleen aikaisen voimantuoton ja keihäänlätönnopeuden välillä. (Mts. 23–33.)

## 5 KEIHÄÄN LENTO

### 5.1. *Lähtönnopeus*

Keihäänheitossa heiton pituuden määräävät irrotusvaiheessa vaikuttavat alkuominaisuudet. Lähtönnopeus on kaikkein tärkein. Keihäälle pyritään antamaan mahdollisimman suuri voimaimpulssi optimaalisella suoritustekniikalla. Keihääseen tulee vaikuttaa mahdollisimman suurella voimalla mahdollisimman kauan heiton suuntaisesti (voima  $\times$  aika). (Utrianen 1987, 58) Gorskin (2003, 102) mukaan keihäs halutaan käytännössä vetää mahdollisimman kaukaa ja pitkän matkaa mahdollisimman nopeasti. Mitä lähemmäs vaakatasoa kämmenen nopeuden suunta ehtii kääntyä ennen keihään irrotusta, sitä suurempi lähtönnopeus saadaan. Tämä on vahvasti yhteydessä vetomatkaan, irrotuksen kyynärkulmaan ja keihään lähtökulmaan. (Korjus 1988, 76)

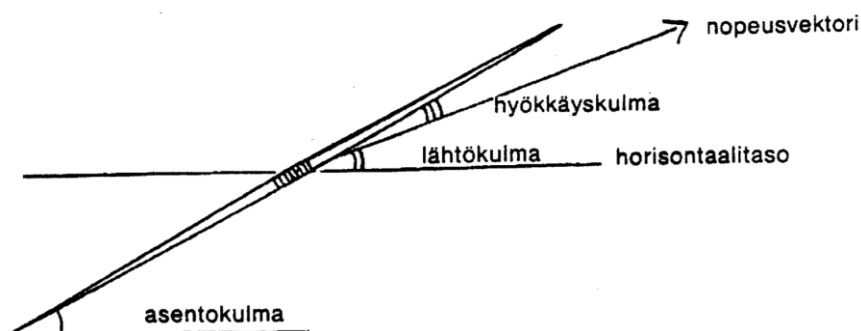
Eri tutkimuksissa on todettu suuria positiivisia riippuvuuksia lähtönnopeuden ja heiton pituuden välillä. (Utrianen 1987, 58) Seuraavanlaisia riippuvuuksia on todettu: Tauchi ja muut (2008, 4)  $r = .938$  ( $p < .01$ ), Murakami ja muut (2006, 68)  $r = .889$  ( $p < 0.01$ ) ja Merro ja muut (1994, 168)  $r = .77$  ( $p < .01$ ). Osakan MM-kisoissa keihään lähtönnopeuden lisäksi todettiin riippuvuus  $r = .672$  ( $p < .05$ ) vertikaalisen lähtönnopeuden kanssa. Vertikaalinen lähtönnopeus ennusti heiton pituutta ja oli edellytys jotta voitiin saavuttaa 23–24 m/s horisontaalinen lähtönnopeus. Kisan voittokolmikon tulokset ja keihään lähtönnopeudet olivat Pitkämäki 90,33 m (29,9 m/s), Thorkildsen 88,61 m (29,8 m/s) ja Greer 86,21 m (29,3 m/s) (Tauchi ym. 2008, 3)

Barcelonan olympialaisissa 1992 keihään keskimääräiseksi lähtönnopeudeksi mitattiin miehillä  $28,3 \pm 0,9$  m/s ja naisilla  $23 \pm 1,9$  m/s. Kisan voittajan Jan Zeleznyyn keihään läh-

tönopeus oli 29,2 m/s. (Mero 1994, 170–173) Salo ja Viitasalo (1994, 138.) mittasivat tutkimuksessaan suurimmaksi keihään lähtönopeudeksi 31,3 m/s. Morrisin (1994, 136.) mukaan keihään kantokorkeudella ei ole suurempaa merkitystä lähtönopeuden tai lähtökulman kannalta. Tutkimuksessa huomattiin, että keihään korkeampi kanto- korkeus oli yhteydessä heiton puhtauteen. (Morris & Bartlett 1994, 136.)

## 5.2. Kulmaominaisuudet

Keihään lähtönopeuden ohella heiton pituuteen vaikuttavat keihään kulmaominaisuudet (Kuvio 8), jotka osaltaan määrittävät lennon pituutta. Keihästä voidaan erottaa lentosuunnan (nopeusvektorin) ja horisontaalitason (vaakatason) muodostama lähtökulma. Asentokulma on horisontaalitason ja keihään pitkittäisakselin välinen kulma, toisinsanoin lähtö- ja hyökkäyskulman summa. Pitkittäisakselin ja nopeusvektorin välistä kulmaa kutsutaan hyökkäyskulmaksi, joka määrittää keihään asennon poikkeaman nopeusvektorin suunnasta. Keihään kärjen ollessa nopeusvektorin yläpuolella hyökkäyskulmakulma on positiivinen ja alapuolella negatiivinen. Ilmanvastus kasvaa hyökkäyskulman suuretessa ja tämän takia on edullista heittää lähellä nollaa olevilla hyökkäyskulmilla. (Utriainen 1987, 60.)



KUVIO 8. Keihään kulmaominaisuudet (Utriainen 1987, 60.)

Teoriassa keihään optimaalinen lähtökulma on 45 astetta tyhjiössä, mutta keihään aerodynaamisista ominaisuuksista ja ympäröivästä ilmanvastuksesta johtuen keihään ihanteellinen lähtökulma on noin 30–35 astetta. Campos ja muut (2004, 52.) totesi-

vat, että tehokkaassa heitossa lähtökulman tulisi olla 32–37 astetta., eikä hyökkäyskulma saisi ylittää +8 astetta. Lähtökulman laskiessa heittäjä pystyy lisäämään keihään lähtönopeutta. Ihanteellinen lähtökulma on kun heittäjä saa lähtönopeuden lisääntymisestä saadun lisäpituuden ja lähtökulman pienenemisestä johtuvan pituuden erotuksen mahdollisimman suureksi. (Utriainen 1987, 60.) Viitasalon, Monosen ja Norvapalon (2003, 31.) tutkimuksessa yhden asteen muutos lähtökulmassa vaikutti B-heittäjällä 1,07 m ja D-heittäjällä 0,03 m tulokseen. Yhden asteen muutos hyökkäyskulmassa vaikutti kummallakin noin 0,3 m tulokseen.

Osakan MM-kisoissa keihäälle mitattiin lähtökulmaksi  $34,6 \pm 0,6^\circ$ , hyökkäyskulmaksi  $3,7 \pm 2,5^\circ$  ja asentokulmaksi  $38,3 \pm 3,5^\circ$ . Pitkämäen heitossa (pituus 90,33m ja lähtönopeus 29,9 m/s) lähtökulma oli  $39,9^\circ$ , hyökkäyskulma  $5,7^\circ$  ja asentokulma  $45,6^\circ$ . Lähtökulmilla ei havaittu riippuvuuksia heiton pituuteen ja optimaaliset lähtökulmat riippuvat heittäjän tekniikasta, kuten Pitkämäen heitosta voidaan huomata verrattuna kisoissa saatuihin keskiarvoihin. (Tauchi ym. 2008, 3) Vuoden 1999 MM-kisojen voittaja Aki Parviaisen heiton pituus oli 89,52 m lähtönopeudella 29,7 m/s. Kulmat olivat tuolloin: lähtökulma  $36,6^\circ$ , hyökkäyskulma  $-0,9^\circ$  ja asentokulma  $35,7^\circ$  (Campos ym. 2004, 52.)

Keihään kulmaominaisuudet muuttuvat lennon aikana johtuen alkutilanteesta väliineseen tuotetuista voimista, jotka pyrkivät muuttamaan keihään asentoa suuntautuessaan ohi keihään suorasta lentoradasta. Tällaisia voimia ovat pyörimisliike poikittaisakselin ympäri (ylös-alas, sivulle) ja alkusysäyksen muodostavat voimat. Alkusysäyksen voimat kohdistuvat keihään varteen ja pyrkivät saamaan keihäälle kulmanopeutta sen poikittaisakselin ympäri. Tärkeää on pyrkiä suuntaamaan kaikki voimat keihään varren suuntaisesti, jottei kiertyminen poikittaisakselin ympäri pilaa muuten onnistunutta heittoa. (Utriainen 1987, 61.) Keihäälle voidaan laskea vielä muita lähtöominaisuuksia, kuten keihään asennon sivuttaispoikkeama, joka hidastaa keihään lentoa vedon suuntaan nähden muodostamalla laahausvoimia. Poikkeama voi lisäksi muodostaa muita heiton pituutta lyhentäviä sivuttaisvoimia. Negatiivisella sivuttaispoikkeamalla voi olla positiivinen vaikutus heittoon "Magnusin nosteen" avulla, joka saattaa lisätä heiton pituutta pyörimisliikkeellä. (Best, Bartlett & Morris 1993, 326.)



## 6 SUKUPUOLTEN VÄLISET EROT

Naisilla ja miehillä on suuria fyysisiä eroja, jotka vaikuttavat tasoeroihin urheilusuorituksissa. Näin on myös keihäänheitossa. Keskimäärin miesten kehon massasta noin 40 % on lihasta, kun taas naisilla vastaava määrä on 27 %. Naisten lihasmassa on 50–80 % miesten lihasmassasta. Naiset ovat keskimäärin miehiä 10 % lyhyempiä ja jalat ovat suhteessa 25 % lyhyemmät. Lisäksi naiset ovat noin 10 kiloa kevyempiä. Nämä rakenteelliset tekijät altistavat vammoille ja ovat syynä suuriin eroihin urheilusuorituksissa. Toisaalta naisilla on suurempi harjoittelukyky, joten intensiivinen harjoittelu voidaan aloittaa aikaisemmin ja parempi stressinsietokyky (Utriainen. 1987.)

Naiset saavuttavat maksimaalisen suorituskyykynsä 1-2 vuotta poikia aikaisemmin. Kuitenkin murrosiän jälkeen miehet ohittavat naiset suorituskyykyssä lukuun ottamatta venyvyyttä, joka on naisilla 7 % parempi ja lihaskoordinaatiota. Fysikaaliset muutokset lantion ja hartioden seudulla vaikuttavat suorituskyykyyn. Johtuen anatomisista seikoista naisilla on vähemmän voimaa, nopeutta ja nopeuskestävyyttä kuin miehillä. Biomekaaninen tehokkuus on myös heikompi. (Stander b. n.d.)

Barcelonan olympialaisissa 1992 miehet saavuttivat korkeamman lähtönopeuden (miehillä  $28,3 \pm 0,9$  m/s ja naisilla  $23 \pm 1,9$  m/s), pidemmän viimeisen askeleen (miehillä  $1,8 \pm 0,1$  m ja naisilla  $1,5 \pm 0,1$  m), pidemmän vetomatkan ja korkeamman heittokorkeuden verrattuna naisiin ( $p < .05$ -.001). Keihään asentokulma ( $p < .01$ ) oli naisilla ( $40 \pm 5^\circ$ ) suurempi kuin miehillä ( $31 \pm 6^\circ$ ). Kummatkin saivat suuren korrelaation lähtönopeuden ja heiton pituuden välillä (miehillä  $r = .77$  ja naisilla  $r = .74$ ). Monet biomekaaniset muuttujat olivat kuitenkin samoja, kuten lähestymisnopeus tukijalan kontaktin alussa (miehet  $5,6 \pm 1,0$  m/s ja naiset  $5,6 \pm 0,3$  m/s). Miehillä havaittiin huomattavasti suuremmat maksiminopeudet hartian, kyynärpään, ranteen ja käden nivelpisteissä. Kulmanopeuksissa ja maksiminopeuksien ilmenemisajankohdissa ei havaittu huomattavia eroja. (Mero ym. 1994, 168–170.)

Best ja muut (1993, 321–322) analysoivat heittoja vuoden 1991 opiskelijoiden MM-kisojen miesten ja naisten osalta ja saivat samankaltaisia havaintoja biomekaanisten muuttujien eroista sukupuolten välillä, kuten Barcelonan olympialaisissa 1992. Ris-

tiaskaleen alusta keihään irtoamiseen kulunut aika oli naisilla pidempi kuin miehillä ja tämä on suoraan yhteydessä naisten heikompiin keihään lähtönopeudentuottominaisuuksiin verrattuna miehiin. Yhdet suurimmista huomatuista eroista olivat vasemman jalan kontaktin kesto ennen ristiaskelta ja ristiaskeljalan kontaktin pituus ennen vetoaskelta. Miehillä nämä ajat olivat huomattavasti lyhyemmät ja se kertoo jalkojen aktiivisemmasta toiminnasta vaiheissa. (Mts. 1993. 321–322)

## 7 MITTAUSLAITTEISTO

### 7.1. *Pedar-X -paine pohjalliset*

Plantaaristen paineiden keräämiseen käytetään Novelin Pedar-X -paine pohjallisia (Kuvio 9), jotka kattavat jalkapohjien koko plantaarisen alan. Pedar-X on Novelin valmistama paine pohjallisjärjestelmä, jota käytetään mittaamaan dynaamisia paineita kengän ja jalan välissä. Järjestelmä on ominaisuuksiltaan hyvin joustava ja sitä voidaan hyödyntää lähes kaikkeen testaamiseen. Laitteistoa voidaan muun muassa käyttää kenkien valmistuksessa, ortoosien suunnittelussa, terapiassa ja kuntouttamisessa, paineiden pitkäaikaseurannassa, urheilubiomekaniikassa ja suoritusten kineettisessä analyysissä. Laitteistoa on käytetty monissa eri urheilulajeissa, kuten kävelyssä, juoksussa, jalkapallossa, laskettelussa ja pyöräilyssä. (Pedar-X. 2008.)



KUVIO 9. Novel Pedar-X -paine pohjalliset ja tiedonkerääjä

Pohjalliset ovat 1,9 mm paksut ja kumpikin pohjallinen sisältää 99 kapasitiivista sensoria, joiden painealue on 15–1000 kPa. Paineiden keräämisfrekvenssi on 50 Hz tai 100 Hz. Suorituksen aikana pohjalliset ovat yhdistettynä käyttäjän vyötäröllä olevaan tiedonkerääjään. Tiedonkerääjästä tiedot voidaan siirtää USB:n tai bluetoothin välityksellä tietokoneelle, jossa ne analysoidaan. Järjestelmä painaa 360 grammaa, sisältäen pohjalliset ja tiedonkeruulaitteen. Tiedonkeruulaite on 150x100x40 mm suuri. Siihen voidaan maksimissaan liittää 256/1024 sensoria ja sen mittausnopeus on 20000 sensoria sekunnissa. Akkukesto on noin 4,5 tuntia. Pohjallisten jokainen sensori voidaan kalibroida erikseen trublu -kalibrointilaitteiston avulla. (Pedar-X. 2008.)

Painedata voidaan lopuksi analysoida Pedar-X ohjelmistolla kaksi tai kolmiulotteisesti. Siinä voidaan myös yhdistää ja synkronoida paineet EMG:n ja videokuvan kanssa. Ohjelma näyttää maksimipaineet ja sillä voidaan vertailla eri ajanhetkiä rinnakkain. Ohjelmalla voidaan laskea maksimipaine, kontaktialueen suuruus, kontakti aika, paine-aika kuvaaja, voima-aika kuvaaja ja paikalliset maksimipaineet. Jalat voidaan myös analysoida erikseen. Halutut tiedot voidaan muuntaa taulukkomuotoon ja käsitellä halutulla taulukko-ohjelmistolla. (Pedar-X tuotesivu. n.d.)

## **7.2. Suurnopeuskamerat**

Tutkimuksessa käytettiin kahta NAC FX K4 -suurnopeuskameraa (Kuvio 10), jotka tarjoavat suuren valoherkkyyden, kuvausnopeuden ja resoluution. Kameran ovat täysin itsenäisiä ja digitaalisia. Ne on suunniteltu käytettäväksi vaihteleviin tutkimus-, kehitys- ja testauskäyttöihin. Kameraa voidaan ohjata sen takana olevasta ohjauspaneelistä, tietokoneelta tai erillisestä J-pad ohjaimesta. Kameraa voidaan myös ohjata laukaisimen avulla, jolla se saadaan esimerkiksi synkronoitua toisten laitteiden kanssa. (NAC FX K4. n.d.)

Kameroissa käytetään kehittynyttä CMOS - sensoria, joka mahdollistaa kuvausnopeuden 100–168000 kuvaa sekunnissa riippuen käytettävästä resoluutiosta. Resoluu-

tio voidaan valita suuren resoluution 1280 X 1024 ja hyvin pienen 32 X 48 välillä. Täydellä resoluutiolla 250 kuvaa sekunnissa voidaan ottaa 9,8 sekuntia kuvaa kameran 4 Gb kiintolevyille. Kiintolevyiltä kuvat siirretään tietokoneelle valokuitua pitkin Memrecam FxLink -ohjelmistolla. Kameroiden suljinnopeus on säädettävissä täysin auki olevasta kolmeen mikrosekuntiin asti. NAC kamerassa käytetään ATC piiriä, joka mahdollistaa automaattisen mustan ja valkoisen tasapainon säädön. Valoherkkyys on värillisenä ISO 2400 ja mustavalkoisena ISO 10000, kun otetaan 1000 kuvaa sekunnissa. (NAC FX K4. n.d.)



KUVIO 10. NAC FX 4 K4 suurnopeuskamera



KUVIO 11. Laveg-lasertutka

### 7.3. Tutka

Mittauksissa käytettiin Laveg-lasertutkaa (Kuvio 11) mittaamaan heittäjien etenemisnopeutta. Laite lähettää lyhyitä laserimpulsseja, jotka heijastuvat kohteesta takaisin laitteeseen. Kuljetun matka tiedetään impulssin matka-ajasta, sillä laser liikkuu valon nopeudella. Hetkellinen nopeus on laskettu vertailemalla kahden eri pisteen välistä etäisyys- ja aikaeroa. Tutkan data siirrettiin taulukkomuodossa MS Exceliin, jossa voitiin analysoida heittäjien etenemisnopeus halutuilla ajanhetkillä. (Laveg-lasertutkan manuaali. n.d.)

#### 7.4. Kehonkoostumusanalyysaattori

Kehonkoostumuksen analysointiin käytettiin HUR Tanita MC-180 MA -analyysaattoria. Kehon koostumus mitataan bioimpedanssianalyysi (BIA) menetelmän avulla. Menetelmä on todettu yhdeksi tarkimmista menetelmistä kehon koostumuksen selvittämiseen. Heikko sähkövirta johdetaan testattavan henkilön kehon lävitse. Sähkövirrasta lasketaan impedanssi, josta voidaan laskea useita kehon koostumuksen parametreja. (Kehonkoostumusmittari. 2008.)

Mittaamiseen käytetään kahdeksaa sensoria. Mittaustapahtuma kestää 18 sekuntia ja laite jaottelee tulokset erikseen molemmille käsille, jaloille ja keskivartalolle (Taulukko 1). (Kehonkoostumusmittari. 2008.)

**TAULUKKO 1.** Kehonkoostumusanalyysaattorista saatavat tulokset

Jalat, kädet ja keskivartalo	Koko keho
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lihasmassa kg</li> <li>• Lihasmassan tasapaino</li> <li>• Lihasmassa-arvo</li> <li>• Rasvaprosentti %</li> <li>• Rasvan massa kg</li> <li>• Rasvan tasapaino</li> <li>• Reaktanssi / resistanssi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rasvaprosentti %</li> <li>• Rasvan massa kg</li> <li>• Rasvaton massa kg</li> <li>• Lihasmassa kg</li> <li>• Kehon nestepitoisuus (TBW)</li> <li>• Solun ulkopuolinen vesimäärä (ECW)</li> <li>• Solun sisäpuolinen vesimäärä (ICW)</li> <li>• Painoindeksi (BMI)</li> <li>• Luumassa kg</li> <li>• Vartalotyyppi</li> <li>• Viskeraalisen rasvan arvo</li> <li>• Kehon vesimääräarvo (ECW / TBW)</li> <li>• Perusaineenvaihdunta kcal</li> <li>• Perusaineenvaihdunta-arvo</li> </ul>

## 8 MITTAUKSET

### 8.1. Koehenkilöt

Mittausten koehenkilöinä oli neljä keihäänheittäjää, joiden iät vaihtelivat 14–19 vuotta. Koehenkilöiden jakauma (2 poika- ja 2 naisheittäjää) mahdollisti vertailun sukupuolten välillä. Asetelmalla pyrittiin tarkastelemaan naisten (N19) ja poikien (P15) eroja heittosuorituksessa ja pyrkiä selvittämään syitä miesten nopealle tuloskehitykselle verrattuna naisiin. Koehenkilöt heittivät samanpainoista keihästä (600 g), joka oli heille myös heitettävän kisakeihään normaalipaino. Heittäjät olivat ennätysten valossa lähes samantasoisia (taulukko 2). Taulukosta 2 voidaan myös tarkastella määrättyjä muita tietoja heittäjistä. Lisäksi liitteissä 6 ja 7 on nähtävillä jokaisen heittäjän henkilökohtaiset korrelaatiot keihään lähtönopeuteen ja parhaiden suoritusten painekäyrät.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden perustiedot

	P1	P2	N1	N2
<b>Sukupuoli</b>	M	M	N	N
<b>Ikä</b>	14	15	18	19
<b>Pituus</b>	174	186	168	172
<b>Paino</b>	60,9	78,7	73,1	69,2
<b>Kehon rasva %</b>	14,1	19,9	26,9	23
<b>Lihasmassa -kokonais (kg)</b>	49,7	59,9	50,8	50,6
<b>Lihasmassa % kokonaispainosta</b>	0,82	0,76	0,69	0,73
<b>Lihasmassa -oikea käsi (kg)</b>	2,5	2,8	2,3	2,5
<b>Lihasmassa -vasen käsi (kg)</b>	2,5	3	2,4	2,5
<b>Lihasmassa -oikea jalka (kg)</b>	9,1	10,4	8,1	7,8
<b>Lihasmassa -vasen jalka (kg)</b>	9,1	10,4	8,1	7,8
<b>Lihasmassa -keskivartalo (kg)</b>	26,6	33,6	30	30
<b>Ennätys keihäänheitossa (m)</b> (Lähde: tilastopaja.fi)	48,82	50,75	50,11	54,00

## **8.2. Mittausten toteutus**

Mittaukset suoritettiin Jyväskylän Hipposhallissa 22. Helmikuuta 2010. Heitot suoritettiin hallin katosta roikkuvaan heittopressuun tartan-pinnoitetulta heittoalustalta. Heittosuoritukset tehtiin heittäen 600 gramman normaalipainoista keihästä. Heittopaikan valmistelut aloitettiin aamulla kello 8.00. Ensimmäinen heittäjä aloitti suorituksensa noin kello 9.45 ja viimeiset suoritukset tehtiin noin kello 15.20. Tämän jälkeen mittauspaikan välineistö purettiin. Liikemuuttujia ja paineita analysoitiin kahden viimeisen askeleen ajalta eli ristiaskeleelta ja tukiaskeleelta. Analysointi suoritettiin valituista liikemuuttujista, sekä plantaarisista paineista.

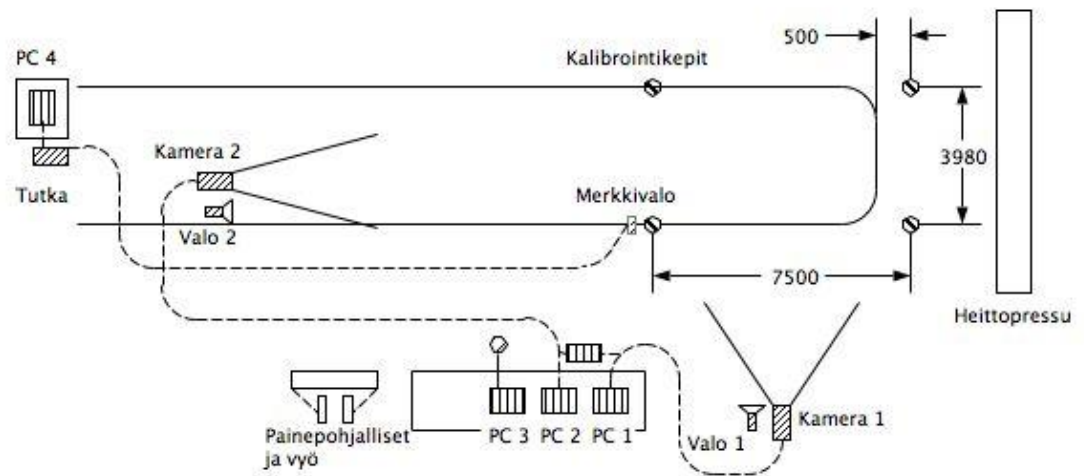
Jokainen heittäjä suoritti vähintään neljä onnistunutta heittoa kolmella eri lähestymisnopeudella. Onnistuneeksi heitoksi laskettiin heitto, joka oli silmämääräisesti katsottuna teknisesti oikea ja se saatiin taltioitua mittauslaitteistolla. Käytetyt lähestymisnopeudet olivat 50 % (hidas), 75 % (keski) ja 100 % (nopea) heittäjän optimaalisesta lähestymisnopeudesta. Pienimmällä lähestymisnopeudella heitto oli lyhytvauhtinen keihäs valmiina takana. Keskimmaisella nopeudella heittäjä käytti noin 4-6 askeleen alkuvauhtia. Suurimmalla lähestymisnopeudella alkuvauhti oli senhetkisen heittokunnon kisoissa käytettävä alkuvauhti.

Heittoja mitattaessa heittäjälle annettiin lupa heittää, jolloin suurnopeuskamerat ja painepohjalliset laitettiin päälle. Kamerate ja pohjalliset olivat synkronoituna siten, että paineiden keruun alkaessa kamerat käynnistyivät samanaikaisesti. Heittäjän lähtiessä liikkeille tutka käynnistettiin hiukan ennen kuin heittoaskeleet alkoivat. Tutka synkronoitiin muiden laitteiden kanssa merkkivalon avulla, joka näkyi suurnopeuskameran 2 kuvassa. Mittaus lopetettiin kun keihäs osui heittopressuun.

## **8.3. Mittausasetelma**

Mittauksissa käytettiin kahta suurnopeuskameraa, jotta saatiin suoritettua 3-dimensionaalinen analyysi. Koeasetelmassa (Kuvio 12) yksi kameroista oli sijoiteltuna

90° sivulle heittosuuntaan nähden siten, että kuvausalaan mahtui suoritus ristiaskeleesta hiukan keihään irtoamishetkeä pidemmälle. Toinen kamera kuvasi heiton suoraan heittäjän takaa vauhdinottoradan päästä. Heittäjien etenemisnopeus mitattiin tutkalla vauhdinottoradan päästä kohdistettuna heittäjän alaselkään. Tutkaa käytettiin nopeuksien mittaamiseen menetelmän helppouden takia.



**KUVIO 12. Tutkimuksen koeasetelma ja aineiston kerääminen**

Kuvausalat kalibroitiin ennen heittoja, jotta saatiin selville mittasuhteet digitointia varten. Neljä kalibrintikeppiä, joiden ylä- ja alapäässä oli merkkipallot sijoiteltiin kuvausalueen alueen kulmiin. Keppien keskinäiset etäisyydet mitattiin ja kuvattiin yhteen otokseen suurnopeuskameroilla. Kuvausalan pituus oli 7500 mm ja leveys 3980 mm (Kuvio 14). Etummaisat kalibrintikepit olivat 3360 mm korkeat. Takimmaisat kepit olivat 2460 mm (vasemmanpuoleinen) ja 2520 mm (oikeanpuoleinen) korkeat. Keihään kärki, perä ja narukerän etuosa merkattiin heijastavalla teipillä helpottaamaan videoaineiston digitointia.



## 9 AINEISTON ANALYSOINTI

### 9.1. *Plantaariset paineet*

Paineiden keräys tapahtui 100 Hz taajuudella siten, että tiedot tallennettiin samanaikaisesti tietokoneelle bluetoothin välityksellä, sekä laitteen sisäiseen flash-muistiin varmuuskopioksi. Välittömällä tiedonsiirrolla pyrittiin nopeuttamaan mittaustapahtumaa ja saamaan työskentely sujuvaksi. Ennen heittosuorituksia heittäjän kenkiin asennettiin sopivat pohjalliset, jotka nollattiin ennen heittosuorituksia. Painedata analysoitiin taulukosta, jossa jalkapohja oli jaettu kantaan ja päkiään, sekä mediaaliseen ja lateraaliseen puoleen. Taulukkoon laskettiin halutut muuttujat saaduista arvoista.

Plantaarisilla paineilla pyrittiin vertailemaan heittäjien tasoeroa, sekä selvittämään jalkojen toimintaa heittosuorituksessa. Mittauksessa analysoitavia muuttujia oli yhteensä 8 kappaletta (Taulukko 3), joista laskettiin arvot ristiaskelkontaktille ja tukiaskelkontaktille. Lisäksi mukana oli kehonkoostumusanalyysistä kaksi muuttujaa (Taulukko 3).

**TAULUKKO 3. Tuloksissa käytetyt käsitteet ja plantaaristen paineiden analysoidut suoritusmuuttujat**

Käsite, lyhenne tai muuttuja	Yksikkö	Kuvaus
Fmax	N	Askelkontaktin keskimääräinen maksimipaine.
tFmax	ms	Keskimääräisten maksimipaineiden ajoittuminen askelkontakteissa kontaktin alusta alkaen
tkon	ms	Askelkontaktien kesto.
maxFtuo	N/s/kg	Maksimaaliset voimantuottopeudet, sekä niiden ajoittuminen
Fmed Flat	%	Paineiden jakautuminen jalkapohjan mediaaliselle tai lateraaliselle puolelle
Fpäkiä Fkanta	%	Paineiden jakautuminen jalkapohjan kannan tai päkiän alueelle
Lihasmassa kg	kg	Kehon lihasmassan määrä kiloina
Lihasmassa %	%	Kehon suhteellinen lihasmäärä (paino (kg) /lihasmassa (kg) )

## **9.2. 3-dimensionaalinen liikeanalyysi**

Mittauksissa käytettiin kahta suurnopeuskameraa ja tutkaa selvittämään heittäjän liikemuuttujat. Kameroiden otokset tallennettiin aluksi kameran sisäiseen 4 Gt:n muistiin, josta ne siirrettiin tietokoneen kovalevyllä valokuitukaapelilla. Käytetty kuvanopeus oli 250 kuvaa sekunnissa. Kyseisellä nopeudella ja maksimiresoluutiolla muistiin mahtui 9,8 sekuntia kuvaa. Otokset tallennettiin pakkaamattomana progressiivisena mcf-tiedostona, joka muunnettiin avi-formaattiin. Videoleikkeet analysoitiin APAS- liikeanalyysiohjelmalla. Videokuvasta digitoitiin keihäaseen merkatut pisteet, jotka numeroitiin perästä alkaen 1-3. Digitointi suoritettiin 20 kuvaa keihään irtoa-

mishetkeä ennen ja 20 kuvaa sen jälkeen. Digitoinnin jälkeen tuloksia käsiteltiin eri APAS-työkaluilla ja lopuksi tulokset olivat taulukkomuodossa. Tutkasta saatu data saatiin omaan taulukkoonsa. Liikeanalyysistä selvitettiin kahdeksan haluttua liike-muuttujaa (Taulukko 4):

**TAULUKKO 4. Tuloksissa käytetyt käsitteet ja liikeanalyysin analysoidut suoritusmuuttujat**

Käsite, lyhenne tai muuttuja	Yksikkö	Kuvaus
MPK	-	Massakeskipiste, paikaksi arvioitiin heittäjän suoliluiden harjujen välinen keskipiste.
Tukiaskelkontakti (TJ)	-	Ajanjakso tukijalan (vasen jalka oikeakätisellä) maahan tulosta keihään irtoamiseen
Ristiaskelkontakti (RJ)	-	Ajanjakso ristiaskeljalan (oikea jalka oikeakätisellä) maahan tulosta ristiaskeljalan irtoamiseen.
Vetovaihe	-	Ajanjakso tukijalan törmäyksestä keihään irtoamishetkeen heittäjän kädestä
Keihään lähtönopeus (Vres)	m/s	Keihään resultanttinopeus kädestä irtoamisen hetkellä ensimmäisen 50ms aikana
Keihään lähtökulma (Kläh)	aste	Keihään nopeusvektorin (narukerä) lentorata suhteessa maahan
Keihään hyökkäyskulma (Khyö)	aste	Keihään nopeusvektorin ja keihään asentokulman välinen ero (pos. arvo tarkoittaa keihään ”laahaamista” ja neg. arvo ”kynämistä”)
Keihään sivuttaispoikkeama (Ksiv)	aste	Keihään nopeusvektorin ja keihään asennon välinen ero ylhäältä päin katsottuna (pos. arvo tarkoittaa sitä, että keihäs osoittaa liian oikealla suhteessa lentosuuntaansa ja neg. arvo, että keihäs osoittaa vasemmalle)

Massakeskipisteen horisontaalinen nopeus: <ul style="list-style-type: none"> <li>- ristiaskelkontaktin alkaessa (Vh1)</li> <li>- tukiaskelkontaktin alkaessa (Vh2)</li> <li>- keihään irrotushetkellä (Vh3)</li> </ul>	m/s	Kehon massakeskipisteen (MPK) absoluuttinen nopeus
Keihään irrotuskorkeus (Dh)	m	Keihään irrotuskorkeus suhteessa heittoalustaan

### 9.3. Tilastolliset menetelmät

Tulosten analysointiin käytettiin tilastollisia menetelmiä. Liikemuuttujia, sekä plantaarisia paineita tarkasteltiin min- ja max-arvoina, keskiarvoina, sekä keskihajontana. Menetelmien avulla pyrittiin saamaan esiin eroja tarkasteltujen yksilöiden ja ryhmien välillä. Eri muuttujien välisiä yhteyksiä analysoitiin pearsonin korrelaationkertoimen avulla. Korrelaatio ( $r$ ) kuvaa kahden eri muuttujan välistä yhteyttä ja se vaihtelee välillä  $(-1,1)$ . Mitä lähempänä ääripäitä kertoimen  $r$  arvo on, sitä voimakkaampaa riippuvuus on. Lähellä nollaa oleva  $r$ :n arvo kertoo, ettei tilastollista riippuvuutta esiinny. Korrelaation merkitsevyyttä kuvaa  $p$ -arvo.  $P$ -arvo voidaan määritellä seuraavasti.

- $p < .05$ , niin riippuvuus on melkein merkitsevä
- $p < .01$ , niin riippuvuus on merkitsevä
- $p < .001$ , niin riippuvuus on erittäin merkitsevä

## 10 TULOKSET

### 10.1. Liikeanalyysi

Liikeanalyysin tuloksia tarkastellaan yksilötasolla, parhaiden suoritusten, sekä eri lähestymisnopeuksien osalta. Jokaiselta heittäjältä on laskettu keskiarvot eri lähestymisnopeuksien heitoista. Näiden avulla vertaillaan heittäjien välisiä eroja, sekä lähestymisnopeuden vaikutusta keihäänheittosuoritukseen. Lisäksi tarkastellaan jokaisen heittäjän parasta täysvauhtista heittoa ja verrataan niitä toisiinsa. Analysoitavia liikemuuttujia oli kaikkiaan kahdeksan kappaletta. Analysoitavia heittoja oli kaikkiaan 52 kappaletta. Jokaisella heittäjällä oli 12–14 onnistunutta heittosuoritusta. Merkitsevästä muuttujista lasketaan korrelaatiot, jotta nähdään löytyykö yhteisiä muuttujia heitoille ja kuinka suuri riippuvuus eri tekijöiden välillä on.

#### 10.1.1 Heittäjien väliset erot

Liikemuuttujia analysoitaessa pojilla keihään lähtönopeus oli alkuvauhdista riippumatta hiukan suurempi kuin naisilla. Kuitenkin tuloksissa on havaittavissa, että jokaisella heittäjällä alkuvauhdin kasvattaminen nosti myös keihään lähtönopeutta. Suurimmalla alkuvauhdilla keihään keskimääräiset lähtönopeudet heittäjillä olivat:

- N2 16,55 m/s
- P2 17,68 m/s
- P1 17,63 m/s
- N1 15,88 m/s

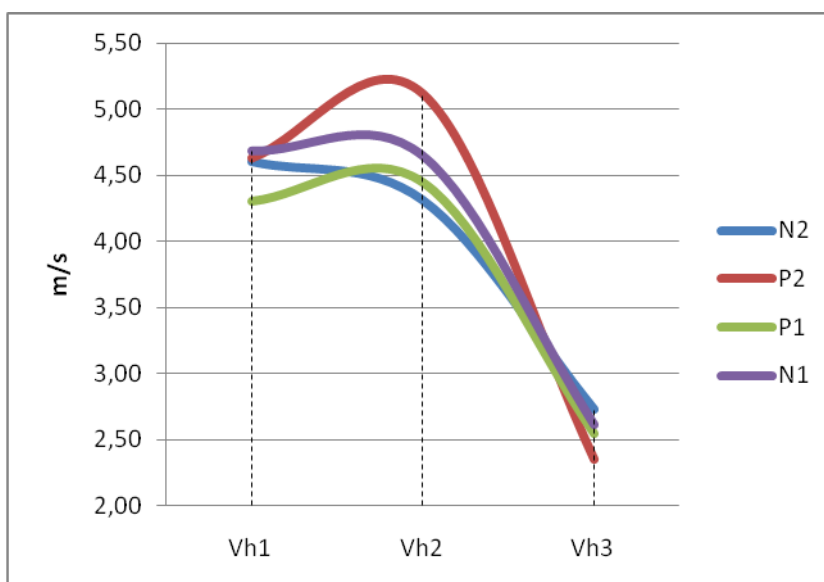
Ero naisten ja poikien keihään lähtönopeuden välillä oli keskimäärin 1,44 m/s. Keihään lähtökulmat olivat jokaisella heittäjällä lähtönopeudesta riippumatta lähellä toisiaan, eikä niissä ilmennyt suuria eroja. Yksilöiden välillä oli 1,6 asteen keskihajonta ja lähtökulmat olivat keskimäärin 32,3 astetta. Naisilla lähtökulmat olivat keskimäärin

2,33 astetta suuremmat kuin pojilla. Suurin lähtökulma oli heittäjällä N2 35,47 astetta ja pienin heittäjällä P1 27,51 astetta. Hyökkäyskulmat olivat suhteellisen pieniä ja vaihtelivat heitonnopeuksien välillä ainoastaan vähän. Suurin hyökkäyskulma oli 3,56 astetta ja pienin -8,07 astetta. Heittäjällä P1 hyökkäyskulmat olivat selkeästi negatiivisia. Muilla kulmat vaihtelivat nollan molemmin puolin.

Keihään sivuttaispoikkeamissa oli suuria vaihteluita heittäjien välillä. Poikkeamat olivat keskimäärin seuraavanlaisia:

- N2  $-5,54 \pm 1,16^\circ$
- P1  $-15,07 \pm 0,97^\circ$
- N1  $-22,12 \pm 2,17^\circ$
- P2  $-39,88 \pm 5,04^\circ$

Heittäjällä P2 poikkeama oli selkeästi joukon suurin. Suurimmillaan sivuttaispoikkeama oli  $-48,41$  astetta. Keihään irrotuskorkeudet olivat jokaisella heittäjällä yksilölliset ja lähestymisnopeudesta riippumatta pysyivät samoina. Heittäjän N2 irrotuskorkeus oli  $1,89 \pm 0,02$  m, P2  $2,01 \pm 0,04$  m, P1  $1,70 \pm 0,03$  m ja N1  $1,73 \pm 0,02$  m.



**KUVIO 13.** Heittäjien täydellä alkuvauhdilla tehtyjen heittojen lähestymisnopeuksien keskiarvo eri mittauspisteissä tukiaskelkontaktille tultaessa. (n=18)

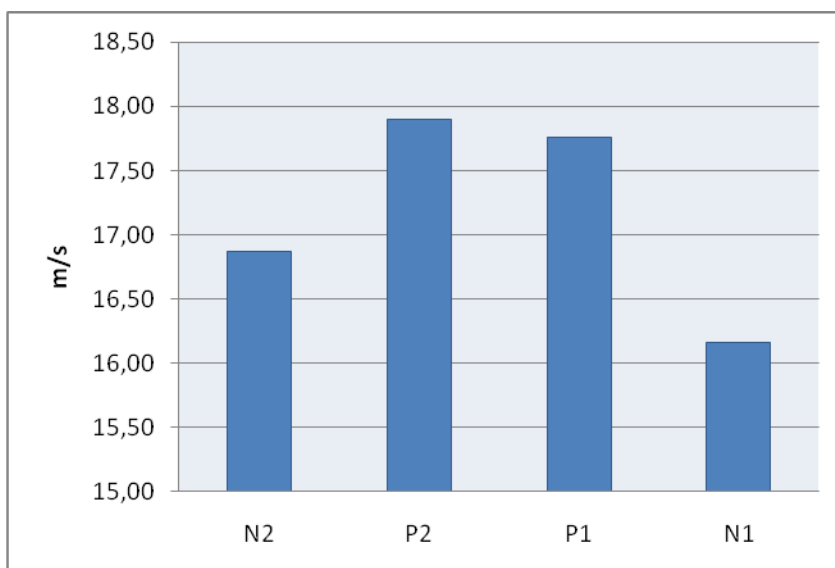
Heittäjän etenemisnopeus mitattiin manuaalisesti tutka kohdistettuna ala- ja ristiselän alueelle. Tästä johtuen etenemisnopeuksissa on suuria virheitä, eikä tuloksiin voi täysin luottaa. Saadut arvot ovat suuntaa-antavia arvoja. Lisäksi tukikontaktissa tapahtuva hidastus ei näy tuloksissa selkeästi, johtuen lantion toiminnasta vedon aikana. Kun tehdään vertailua heittäjien välillä pitää käyttää täydellä vauhdilla tehtyjä heittoja, koska muut riippuvat heittäjän omasta vauhdin säätelystä. Kuvio 13 esittää heittäjien etenemisnopeuden muutosta ristiaskelkontaktissa (Vh1), tukiaskelkontaktille tultaessa (Vh2) ja keihään irrotaessa (Vh3). Täydellä alkuvauhdilla heittäjät saivat seuraavia lähestymisnopeuksia tukiaskelkontaktille tultaessa (Vh2): N2 4,31 m/s P2 5,11 m/s P1 4,44 m/s N1 4,64 m/s.

### 10.1.2 Parhaiden heittojen vertailu

Jokaiselta heittäjältä valittiin paras suoritus analysoitavaksi (Taulukko 5). Valinta tehtiin täydellä alkuvauhdilla tehdyistä heitoista, koska ne ovat parhaiten vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Pääsääntöisesti paras suoritus on heitto, jolla heittäjä on saavuttanut suurimman keihään lähtönopeuden. Heittäjien parhaat suoritukset eivät eroa merkittävästi verrattuna keskiarvoihin. Kuviosta 14 huomataan että heittäjällä P2 on suurin keihään lähtönopeus (17,90 m/s). Heittäjä P1 on saavuttanut ainoastaan hiukan pienemmän lähtönopeuden 17,75 m/s. Naisten lähtönopeudet jäivät pojista selkeästi. Heittäjällä N2 lähtönopeus oli 16,87 m/s ja heittäjällä N1 16,16 m/s.

TAULUKKO 5. Parhaat heitot liikemuuttujien osalta (n=4)

Suoritus	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)
N2	16,87	32,40	0,64	-10,82	1,891	4,41	4,38	2,32
P2	17,90	31,40	-0,91	-40,23	1,949	4,63	5,16	2,12
P1	17,75	29,94	-2,31	-22,36	1,732	4,93	4,86	2,03
N1	16,16	30,48	0,10	-19,12	1,737	5,3	4,95	2,3



**KUVIO 14. Heittäjien parhaiden heittojen lähtönopeudet (n=4)**

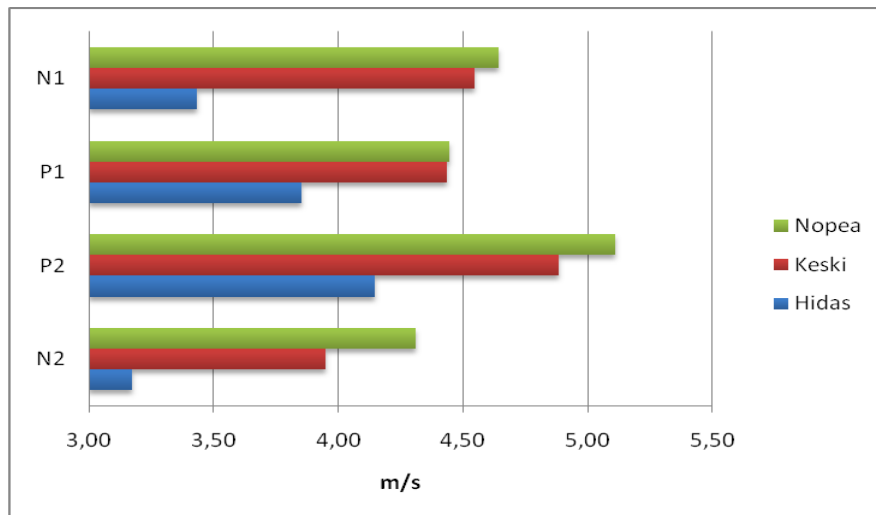
Parhaiden suoritusten kohdalla P2 oli ainut heittäjä, jonka etenemisnopeus lisääntyi ristiaskelen (Vh1) ja tukijalan kontaktin välillä (Vh2). Muilla vauhti hiukan hidastui. Tämä saattaa olla myös seurausta mittaustavasta johtuvasta virheestä.

Lähtökulmat olivat kaikilla samankaltaiset pois lukien sivuttaispoikkeama, jossa oli suuria eroja. Lähtökulma oli noin 30 astetta ja hylkäyskulmat nollan lähellä. Heittäjillä P1 ja P2 hyökkäyskulma oli negatiivinen ja heittäjillä N1 ja N2 positiivinen. Sivuttaispoikkeamat olivat heittäjillä: P2 -40,23 astetta, P1 -22,36 astetta, N1 -19,12 astetta ja N2 -10,82 astetta. Kun verrataan nopeiden heittojen keskiarvoon, niin heittäjillä P1 ja N2 sivuttaispoikkeama on lisääntynyt noin 5 astetta. Heittäjillä P2 ja N1 kulma sopii keskiarvoihin.

### 10.1.3 Eri lähestymisnopeuksien erot

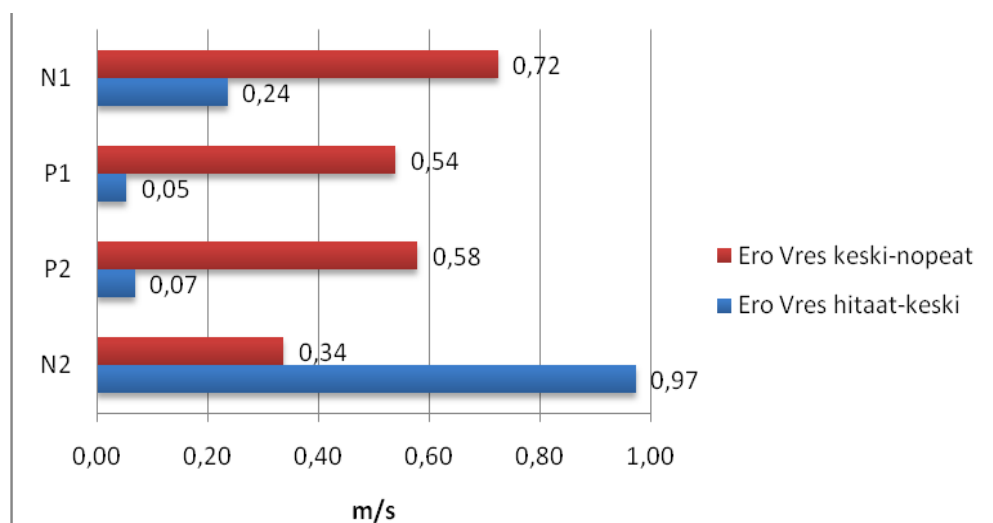
Kuten odotettua mitä pidemmän alkuvauhdin heittäjä otti, sitä suurempi lähestymisnopeus saavutettiin poikkeuksetta. Kuvio 15 esittää etenemisnopeuden kehitystä eri vauhdeilla tukiaskelekontaktille (Vh2) tultaessa. Huomataan, että kehitys hitaimman ja keskimmäisen välillä on huomattava, mutta ero keskimmäisen ja nopean välillä hyvinkin pieni.





**KUVIO 15. Lähestymisnopeuksien keskiarvot tukiaskelkontaktille tullessa eri alkuvauhteilla (n=52)**

Eripituisia alkuvauhteja verrattaessa havaitaan, että yksilöiden välillä on selkeitä eroja. Ristiaskelkontaktille tullessa naisilla lähestymisnopeus kasvaa tasaisesti eripituisilla alkuvauhteilla. Pojilla lähestymisnopeus on kasvanut keskimmäisen ja nopean alkuvauhdin välillä enää vähän. Heittäjällä P1 enää 0,34 m/s ja heittäjällä P2:llä 0,02 m/s. Naiset ovat kontrolloineet eri alkuvauhdit paremmin kuin pojat tai pojilla riittää lyhyempi alkuvauhti optimaalisen lähestymisnopeuden saavuttamiseksi. Tukiaskelkontaktille tullessa lähestymisnopeuksien muutokset ovat naisilla ja pojilla hyvinkin samankaltaiset. Lähestymisnopeus on lisääntynyt tukiaskelkontaktille tullessa heittäjillä seuraavasti: N2 0,36 m/s, P2 0,23 m/s, N1 0,1 m/s ja P1 0,01 m/s.



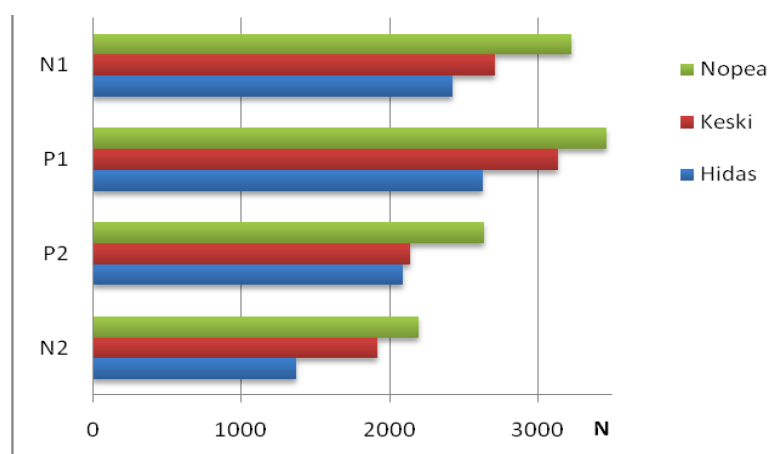
**KUVIO 16. Lähestymisnopeuden vaikutus keihään lähtönopeuteen (n=18)**

Lähestymisnopeuden vaikutus keihään lähtönopeuteen vaikuttaa olevan suhteellisen pieni. Taulukoista (Liite 1) voidaan huomata, että heittokorkeus ja lähtökulmat pysyvät samoina yksilöiden sisällä. Tarkasteltaessa keihään lähtönopeuksia (Kuvio 16) huomataan, että heittäjillä P2 ja P1 ero hitaan ja keskimmäisen alkuvauhdin välillä on suhteellisen pieni. Keskimmäisen ja nopean alkuvauhdin välillä on jo selkeä ero. Heittäjällä N2 huomataan juuri vastakkainen ilmiö. Hitaan ja keskimmäisen alkuvauhdin välillä on saavutettu selkeä kehitys. Ero keskimmäisen ja nopean välillä on suhteellisen pieni. Heittäjän N1:n tulokset mukailevat poikien tuloksia. Nopeuserot hitaan ja nopean heittosuorituksen välillä olivat heittäjillä: N2 1,31 m/s, P2 0,65 m/s, P1 0,59 m/s ja N1 0,96 m/s.

## 10.2. Plantaariset paineet

Plantaaristen paineiden analysointi rajoitettiin koskemaan ainoastaan risti- ja tukiaskelelta. Ristiaskeleella tarkoitetaan oikean jalan kontaktia ristiaskeleessa ja tukiaskeleella ajanjaksoa tukijalan maahantulosta keihään irtoamiseen. Analyysissa vertailtiin heittäjien eri nopeuksilla tehtyjen heittojen keskiarvoja, sekä parhaimpia suorituksia. Tarkastelussa olivat keskimääräiset maksimipaineet, voimantuottonopeudet, sekä paineiden jakautuminen. Lisäksi muuttujien väliset korrelaatiot on laskettu.

### 10.2.1 Maksimipaineet ja voimantuottonopeus

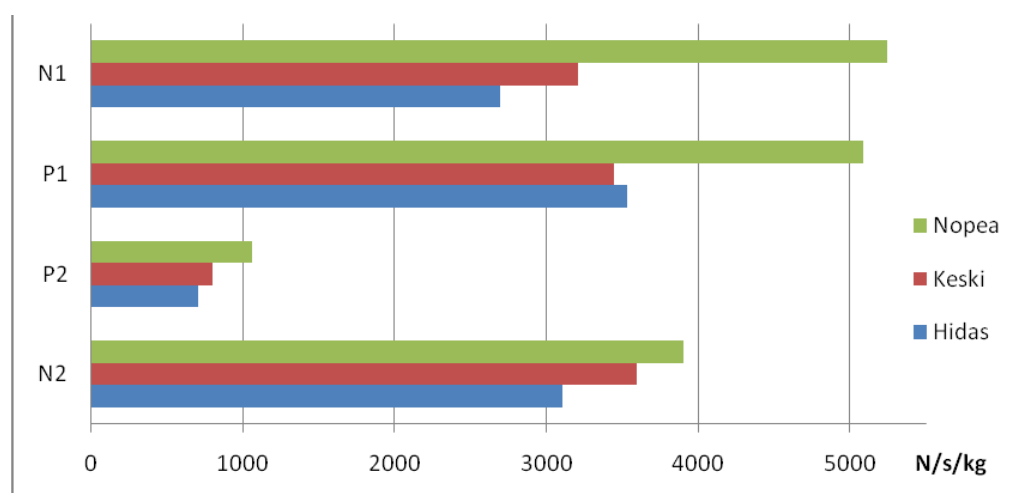


**KUVIO 17.** Heittäjien tuottamat keskimääräiset maksimipaineet tukiaskelkontaktilla eri lähestymisnopeuksilla (n=52)

Kuvio 17 osoittaa heittäjien saavuttamina keskimääräisiä maksimaalisia tukiaskelkontaktin paineita eri lähestymisnopeuksilla. Heittäjällä P1 voidaan havaita suurimmat paineet jokaisella lähestymisnopeudella. Kaikilla heittäjillä huomataan että keskimääräinen maksimipaine kasvaa lähestymisnopeuden kasvaessa, mutta heittäjien välillä on eroja senkin suhteen. Parhaissa heitoissaan heittäjien maksimipaineet olivat

- N2 2447,8 N
- P2 2930,1 N
- P1 3319,2 N
- N1 3179,1 N

Tarkasteltaessa heittäjien tuottamia voimia heittäjän massa (BW) suhteutettuna saatiin seuraavia arvoja: N2 (3,6 x BW); P2 (3,8 x BW); N1 (4,4 x BW) ja P1 (5,5 x BW). Erot ovat samankaltaiset kuin maksimipaineissa kuviossa 17. Ainoastaan ero heittäjien P1 ja N1 välillä on kasvanut.



**KUVIO 18. Voimantuottonopeudet painokiloa kohden tukiaskelkontaktilla eri lähestymisnopeuksilla (n=52)**

Voimantuottonopeuksia (Kuvio 18) tarkastellaan kuinka monta Newtonia heittäjä on sekunnissa tuottanut painokiloa kohti. Voimantuottonopeus on laskettu askelkontak-

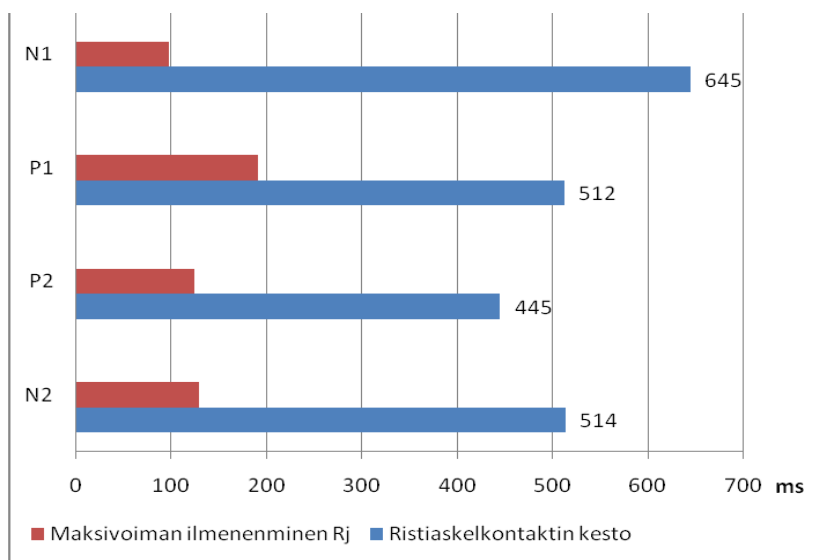
tin alusta loppuen maksimivoiman ilmenemiseen. Heittäjät tuottivat maksimissaan seuraavanlaisia voimia:

- N1 5248 N/s/kg
- P1 5092 N/s/kg
- N2 3905 N/s/kg
- P2 1063 N/s/kg

Heittäjien N2 ja P2 voimantuottonopeus kasvaa vain hiukan lähestymisnopeuden lisääntyessä. Heittäjillä P1 ja N1 hitaalla ja keskimmaisella nopeudella tehdyissä heitoissa voimantuottonopeudet ovat lähellä toisiaan. Täydellä vauhdilla ero kasvaa huomattavasti.

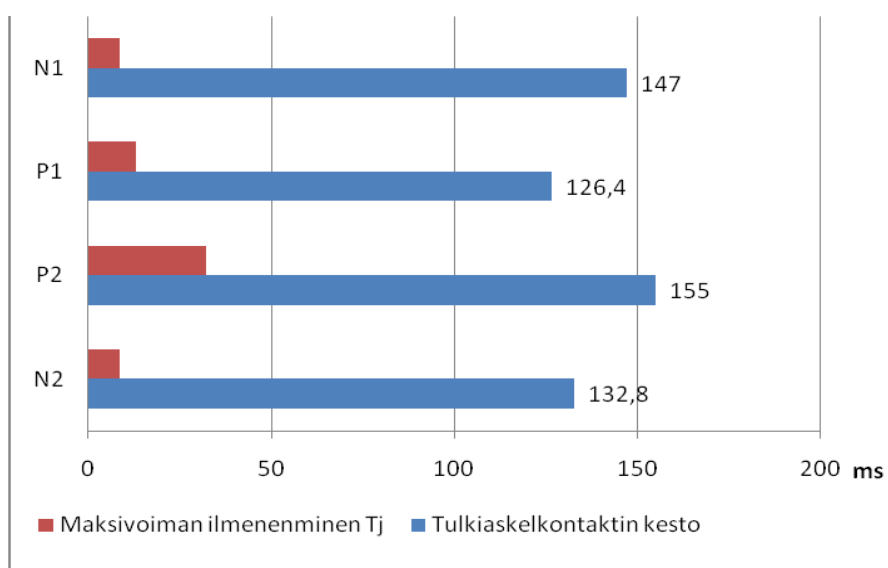
Tarkasteltaessa voimantuottonopeuksia ristiaskelkontaktissa voidaan havaita että kaikilla heittäjillä voimantuottonopeus kasvaa lähestymisnopeuden kasvaessa. Ainut poikkeus tähän on heittäjä N2, jolla suurin voimantuottonopeus on keskimmaisella lähestymisnopeudella. Heittäjä N1 on tuottanut selkeästi suurimmat voimat kaikista heittäjistä jokaisella lähestymisnopeudella. Pojilla voimantuotot ovat pienemmät kuin naisilla. Heittäjät ovat maksimissaan saaneet seuraavia voimantuottonopeuksia ristiaskelkontaktissa:

- N1 263,6 N/s/kg
- P1 112,2 N/s/kg
- N2 167,9 N/s/kg
- P2 104,1 N/s/kg



**KUVIO 19. Ristiaskelkontaktin kesto ja keskimääräisen maksimivoiman ilmenemishetki täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista (n=18)**

Askelkontaktien kestoissa löytyy heittäjien välillä selkeitä eroja. Heittäjällä P2 riskiaskelkontakti on selkeästi nopein. Heittäjillä P1 ja N2 lähes yhtä pitkät. Heittäjällä N1 kontakti on selkeästi hitain. Keskimääräisen maksimivoimien ilmeneminen ristiaskelkontaktin aikana (Kuvio 19) tapahtuu prosentuaalisesti tarkasteltuna heittäjällä P1 myöhimpään (37,2 %). Vastaavasti muilla heittäjillä ilmeneminen tapahtuu: P2 28,0 %, N2 25,2 % ja N1 15,2 %.

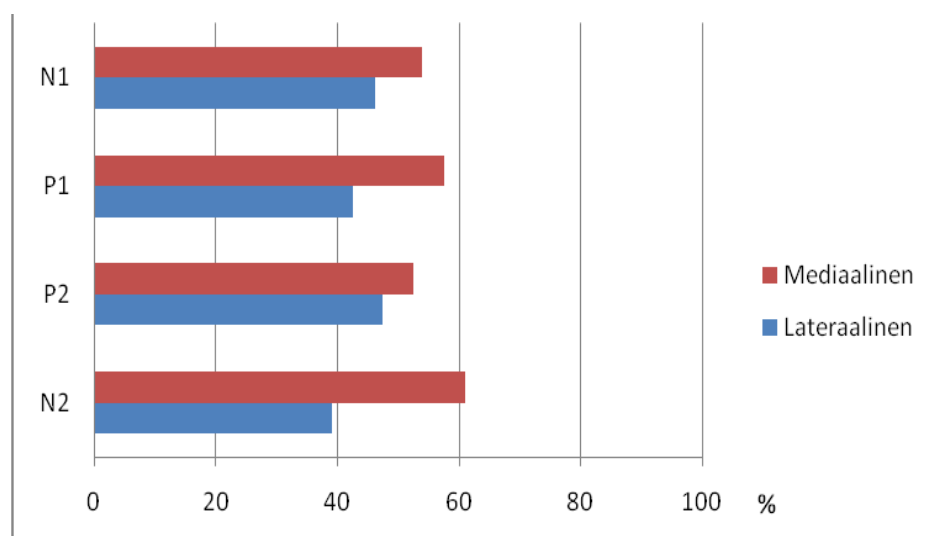


**KUVIO 20. Tukiaskelkontaktin kesto ja keskimääräisen maksimivoiman ilmenemishetki täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista (n=18)**

Tukiaskelkontaktin kestot (Kuvio 20) ovat heittäjillä P1 (126,4 ms) ja N2 (132,8 ms) selkeästi lyhyemmät verrattuna heittäjiin N1 (147 ms) ja P2 (155 ms). Maksimivoimien ilmeneminen tapahtuu naisheittäjillä poikia nopeammin. N2 6,4 % ja N1 5,8 % askeleen alusta. P1:lla vastaavasti 10,3 % ja P2:llä selkeästi hitaimmin (20,8 %)

### 10.2.2 Paineiden jakautuminen

Tarkasteltaessa paineiden jakautumista tukijalan alueella tukiaskelkontaktin aikana havaitaan, että paineet jakautuvat hiukan enemmän jalkapohjan mediaaliselle puolelle (Kuvio 21). Heittäjällä N2 mediaalisella puolella on 22 % enemmän painetta, kuin lateraalisisella. Heittäjällä P1 vastaava paine on 15 %, heittäjällä N1 7,65 % ja heittäjällä P2 5 %. Keskimääräisen maksimivoiman ilmenemishetkellä paineiden jakautuminen lateraalisiselle ja mediaaliselle puolelle on hyvin samankaltainen verrattuna koko kontaktin keskiarvoon.

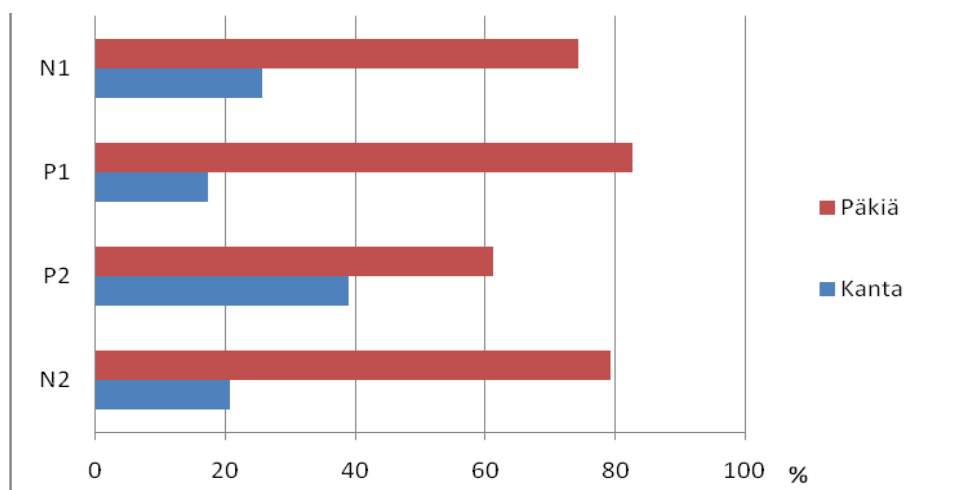


**KUVIO 21. Paineiden jakautuminen tukiaskelkontaktin aikana mediaaliselle ja lateraalisiselle puolelle täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista (n=18)**

Paineiden jakautumisessa mediaalisen ja lateraalisen puolen välillä ei havaittu suuria eroja. Taas päkiän ja kannan välillä on huomattavat erot. Koko kontaktin aikana päkiälle kohdistui huomattavasti enemmän painetta kuin kannalle (Kuvio 22). Ero päkiän ja kannan keskimääräisten maksimipaineiden välillä on heittäjällä P1 65,36 %, N2 58,64 %, N1 48,8 % ja P2 22,25 %. Keskimääräisen maksimivoiman ilmenemishet-

kellä kannan ja päkiän paineet eroavat täysin koko kontaktin keston keskiarvosta.

Kannalle kohdistuu hetkellisesti suuremmat paineet kuin päkiälle. Heittäjillä N2 ja P2 kannalla on noin 70 % paineesta ja heittäjillä P1 ja N1 60 %.



**KUVIO 22.** Paineiden jakautuminen tukiaskeleen aikana kannalle ja päkiälle täydellä lähestymisnopeudella tehdyistä heitoista (n=18)

### **10.3. Muuttujien väliset yhteydet**

Plantaaristen paineiden ja liikemuuttujien välisiä yhteyksiä laskettiin kaikista heitoista, sekä parhaista heitoista. Lisäksi vertailtiin poikien heitoista ja naisten heitoista saatuja korrelaatioita. Yksilökohtaisia korrelaatioita ei tässä tutkimuksessa laskettu. Liitteissä 2, 3, 4 ja 5 löytyy täydelliset korrelaatiomatriisit laskettujen muuttujien välisistä yhteyksistä. Saaduille korrelaatioille on myös laskettu merkitsevyys, jos korrelaatio on saanut merkitsevyuden ( $p < .05$ ) se luetaan merkitseväksi. Tuloksissa on suuri määrä merkitseviä korrelaatioita joiden käytännön merkitystä tulee pohtia tarkkaan. Vaikka kahdella muuttujalla on suuri yhteys, se ei välttämättä ole oleellista heittotuloksen kannalta.

Maksimivoiman ja keihään lähtönopeuden kanssa ei löytynyt merkitsevää korrelaatiota millään lasketuista vaihtoehdoista. Kaikista heitetystä heitoista löytyi seuraavia mielenkiintoisia korrelaatioita keihään lähtönopeuden kanssa:

- Keihään hyökkäyskulma ( $r=-.60$ ,  $p<.001$ )
- Keihään lähtökulma ( $r=-.56$ ,  $p<.001$ )
- Kehon suhteellinen lihasmassan määrä (lihasmassa/paino) ( $r=.78$ ,  $p<.001$ )
- Etenemisnopeus ristiaskelkontaktilla (Vh1)  $r=.52$ ,  $p<.001$  ja etenemisnopeus tukiaskelkontaktille tultaessa (Vh2)  $r=.48$ ,  $p<.001$
- Ristiaskelkontaktin kesto ( $r=-.41$ ,  $p<.001$ )
- Maksimipaineen ilmeneminen tukiaskelkontaktin kestosta ( $r=.58$ ,  $p<.001$ )
- Lisäksi ristiaskeljalan ja tukiaskeljalan keskimääräiset maksimivoimat korreloivat ( $r=.59$ ,  $p<.001$ ) keskenään

Parhaita heittoja tutkittaessa mielenkiintoisia korrelaatioita keihään lähtönopeuden kanssa löytyi muutamia. Lisää korrelaatioita keihään lähtönopeuteen liittyen näkee taulukosta 6.

- Ristiaskelkontaktin voimantuottonopeus ( $r=-.98$ ,  $p<.001$ ) ja keskimääräinen maksimivoima ( $r=-.93$ ,  $p<0.01$ )
- Keskimääräisen maksimivoiman ilmeneminen tukiaskelkontaktin kestosta ( $r=.97$ ,  $p<.003$ )
- Voimantuottonopeus tukiaskelkontaktilla ( $r=-.97$ ,  $p<.003$ )
- Lisäksi voimantuottonopeudet risti- ja tukiaskelkontaktissa korreloivat ( $r=.96$ ,  $p<.005$ ) keskenään.



TAULUKKO 6. Keihään lähtönopeuteen korreloivat muuttujat eri otantojen suhteen

\*=  $p < .05$ , \*\*=  $p < .01$ , \*\*\*=  $p < .001$

	<i>Naiset (n=26)</i>	<i>Pojat (n=26)</i>	<i>Kaikki (n=52)</i>	<i>Parhaat(n=4)</i>
Kläh (ast.)	-0,14	-0,08	<b>-0,56***</b>	-0,08
Khyö (ast.)	<b>-0,45*</b>	-0,20	<b>-0,60***</b>	-0,73
Ksiv. (ast.)	<b>0,50**</b>	0,00	-0,28*	-0,65
Dh. (m)	0,38	-0,05	0,23	0,39
Vh1 (m/s)	<b>0,71***</b>	<b>0,44*</b>	<b>0,52***</b>	-0,18
Vh2 (m/s)	0,36	<b>0,38*</b>	<b>0,48***</b>	0,34
Vh3 (m/s)	0,23	-0,10	0,05	<b>-0,86*</b>
Fmax TJ	0,04	<b>0,47*</b>	<b>0,38**</b>	0,13
tFmax TJ %	-0,11	-0,14	<b>0,58***</b>	<b>0,97**</b>
maxFtuo TJ	0,20	0,20	-0,26	<b>-0,97**</b>
tKon TJ	<b>-0,56**</b>	-0,09	-0,22	-0,10
Fmax RJ	-0,04	0,26	<b>-0,32*</b>	<b>-0,93**</b>
tFmax RJ %	-0,11	0,18	0,19	<b>0,87*</b>
tKon RJ	<b>-0,42*</b>	-0,31	<b>-0,41***</b>	<b>-0,91*</b>
Flat % TJ	-0,11	-0,09	0,21	-0,67
Fmed % TJ	0,11	0,09	-0,21	0,67
Fkanta % TJ	<b>-0,42*</b>	0,20	-0,16	0,35
Fpäk % TJ	<b>0,42*</b>	-0,20	0,16	-0,35
Lihasmassa kg	<b>-0,52**</b>	-0,05	<b>0,40***</b>	0,52
Lihasmassa %	<b>0,52**</b>	0,05	<b>0,78***</b>	<b>0,86*</b>

Naisten ja poikien välillä on suuria eroja saaduissa korrelaatioissa. Täydelliset korrelaatiomatriisit löytyvät liitteistä 4 ja 5. Naisilla huomattavasti useampi muuttuja korreloi keskenään. Mielenkiintoisimmat korrelaatiot naisilta ovat

- Etenemisnopeus ristiaskelkontaktilla (Vh1) korreloi keihään lähtönopeuden kanssa ( $r=.71$ ,  $p<.001$ )
- Ristiaskelikontakin ( $r=-.84$ ,  $p<.001$ ) ja tukiaskelkontaktin ( $r=-.79$ ,  $p<.001$ ) keskimääräinen maksimivoima yhteys kehon prosentuaaliseen lihasmassaan.
- Ristiaskelkontaktin keskimääräinen maksimivoima ja etenemisnopeus tukijalalle tultaessa ( $r=.63$ ,  $p=.001$ )
- Risti- ja tukiaskelkontaktin kesto korreloivat keskenään ( $r=-.66$ ,  $p<.001$ )

Pojilla oli huomattavasti vähemmän toistensa suhteen merkitsevästi korreloivia teki-

jöitä kuin naisilla. Lisäksi keihään lähtönopeuden kanssa ei löytynyt yhtään merkitsevästi korreloivaa tekijää. Muita merkitseviä korrelaatioita pojilta olivat

- Ristiaskelikontakin ( $r=.72$ ,  $p<.001$ ) ja tukiaskelkontaktin ( $r=.73$ ,  $p<.001$ ) keskimääräisen maksimivoiman yhteys kehon prosentuaaliseen lihasmassaan.
- Keskimääräiset maksimivoimat risti- ja tukiaskelkontaktilla korreloivat toisiinsa ( $r=.73$ ,  $p<.001$ )

## 11 POHDINTA

### 11.1. Liikeanalyysin muuttujat

Liikeanalyysin tuloksia tutkittaessa eri muuttujien yhteys keihäänlähtönopeuteen oli suurimman mielenkiinnon kohteena. Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Viitasalo & Norvapalo 2003  $r=.75$  ja Osaka 2007  $r=.94$ ) on todettu keihään lähtönopeuden korreloivan parhaiten heiton pituuteen. Tässä tutkimuksessa suurimmat keihäänlähtönopeudet saavuttivat heittäjät P2 (17,90 m/s) ja P1 (17,75 m/s). Naisilla saavutetut lähtönopeudet olivat keskimäärin 1,44 m/s poikien keskiarvoa hitaammat. Parhaimmillaan naisheittäjät saavuttivat lähtönopeudet 16,87 m/s (N2) ja 16,16 m/s (N1). Naisten ja poikien välillä on myös eroja muissa keihään lähtöparametreissa ja lähestymisnopeuksissa. Lähestymisnopeuksia tarkasteltaessa tulee muistaa tulosten suuri epäluotettavuus.

Tutkimuksessa suoritetusta kehonkoostumusanalyysistä saatiin laskettua heittäjien kehon prosentuaalinen lihasmassa. Prosentuaalinen lihasmassa korreloi vahvasti keihäänlähtönopeuteen (kaikki  $r=.78$ ,  $p<.001$  ja parhaat  $r=.86$ ,  $p<.05$ ). Pelkkä lihasmassa ei toisaalta korreloinut yhtä vahvasti. Tämä saattaa kuvata keihäänheiton monipuolisuutta lajina, jossa vaaditaan voima- ja nopeusominaisuuksia oikeassa suhteessa.

Lähtökulmat olivat suhteellisen lähellä toisiaan kaikilla heittäjillä (keskihajonta 1,6 astetta). Hyökkäyskulmat vaihtelivat -8,07 ja 3,56 asteen välillä ollen heittäjällä P1 ai-

noastaan selkeästi negatiiviset. Suurimmat erot tulivat sivuttaispoikkeamissa. Suurimmillaan kulma oli P2:llä  $-48,41$  astetta, joka vaikuttaisi heiton pituutta mitattaessa suuresti tulokseen. Kaikkia heittoja tarkasteltaessa lähtökulma ( $r=-.56$ ,  $p<.001$ ) ja hyökkäyskulma ( $r=-.60$ ,  $p<.001$ ) korreloivat keihään lähtönopeuteen. Eli mitä pienempi kulma sitä suurempi keihäänlähtönopeus saavutettiin. Valleala (1999) sai myös negatiivisen korrelaation ( $r=-.81$ ) hyökkäyskulman ja keihään lähtönopeuden välille.

Tukiaskelkontaktille tultaessa (Vh2) oli heittäjien lähestymisnopeus täysivauhtisissa heitoissa keskimäärin  $4,8 \pm 0,33$  m/s. Lähestymisnopeus hitaampi verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin, koska heittäjät ovat nuoria heittäjiä ja heitot tehtiin harjoittelukaudella. Eri lähestymisnopeuksia tarkasteltaessa huomataan että hitaan ja keskimmäisen lähestymisvauhdin välillä ei tapahdu suurta kehitystä keihään lähtönopeuden ( $\Delta V_{res}=0,12$  m/s) kanssa. Sen sijaan keskimmäisen ja täyden lähestymisnopeuden välillä tapahtuu suurempi kehitys ( $\Delta V_{res}=0,61$  m/s). Lähestymisnopeudet korreloivat vahvasti keihään lähtönopeuden kanssa. Käytännössä suuri etenemisnopeus niin ristiaskelkontaktilla ( $r=.52$ ,  $p<.001$ ), kuin tukiaskelkontaktille tultaessa ( $r=.48$ ,  $p<.001$ ) ovat tärkeitä kun halutaan saavuttaa suuri keihään lähtönopeus.

Pojat saavuttivat jokaisella lähestymisnopeudella suuremman keihäänlähtönopeuden verrattuna naisiin. Liikemuuttujista ei löytynyt selkeää tekijää mikä selittäisi suuremman keihäänlähtönopeuden. Ristiaskelkontaktin etenemisnopeuksista voidaan tulkita, että pojat saavuttivat optimaalisen lähestymisnopeuden vähemmillä askelilla kuin naiset. Toisaalta tulee muistaa, että heittäjät säätelivät itse lähestymisaskelten määrän. Tarkasteltaessa lähestymisnopeuden vaikutusta keihään lähtönopeuteen voidaan tulkita, että jokaisella heittäjällä on optimaalinen lähestymisnopeus jolla hän saa optimaalisen keihäänlähtönopeuden ja ihanteelliset lähtökulmat.

## **11.2. Plantaaristen paineiden muuttujat**

Jokainen heittäjä saavutti suurimmat keskimääräiset maksimipaineensa tukiaskelkontaktissa. Heittäjistä P1 tuotti suurimman voiman (3319,2 N). Voima on pieni verrattuna muihin tutkimuksiin (mm. Valleala (1999), Deporte ym. (1988)). Tulee muistaa että tässä tutkimuksessa heittäjät olivat nuoria. Kun suhteutetaan maksimivoimat heittäjien painoon (3,6–5,5 x BW) niin tulokset ovat hyvin yhteneväiset muihin tutkimuksiin. Vallealan (1999) tutkimuksessa keskimäärin 5,7 x BW ja Deporte ym. (1988) tutkimuksessa 7,2 x BW.

Tässä tutkimuksessa ei löytynyt merkitseviä korrelaatioita maksimivoimien ja keihään lähtönopeuden välillä. Ainut korrelaatio ( $r=-.93$ ,  $p<.003$ ) löytyi parhaiden suoritusten ristiaskelkontaktin keskimääräisen maksimivoiman kohdalla. Eli mitä pienempi ristiaskelkontaktin maksimivoima sitä suurempi keihään lähtönopeus. Tulos mukailee Korjuksen (1988. 64–73.) saamaa tulosta, jonka mukaan suuret vertikaalivoimat ristiaskeleella vähentävät keihään lähtönopeutta. Mielenkiintoinen seikka huomataan lihasmassan yhteydestä keskimääräiseen maksimivoimaan tukiaskelkontaktissa. Pojilla havaitaan korrelaatio ( $r=.73$ ,  $p<.001$ ) kun taas naisilla on täysin vastakkainen negatiivinen korrelaatio ( $r=-.79$ ,  $p<.001$ ). Sama toistuu myös ristiaskelkontaktissa.

Tässä tutkimuksessa maksimivoiman ajoittuminen oli naisilla prosentuaalisesti aikaisempi verrattuna poikiin. Poikien välillä oli myös merkittävä ero. Heittäjällä P1 maksimivoima ilmeni 10,3 % kohdalla ja heittäjällä P2 20,8 % kohdalla tukiaskelkontaktin alusta. Parhaiden ( $r=.97$ ,  $p<.003$ ) ja kaikkien ( $r=.58$ ,  $p<.001$ ) heittojen kohdalla löytyi korrelaatiot maksimivoiman ilmenemisen tukiaskelkontaktissa ja keihään lähtönopeuden välillä. Vallealan (1999) tutkimuksessa keskimääräisten maksimaalisten paineiden ajoittuminen tukiaskelkontaktissa korreloi ( $r=.95$ ,  $p.05$ ) selkeästi lähtönopeuteen, sen sijaan paineiden suuruus ei. Tämä on mahdollisesti yhteydessä heittäjän tekniikkaan, sillä paremman tason heittäjillä vetomatka on pidempi ja voimaimpulssi ajoittuu hiukan myöhemmin tukiaskelkontaktissa. Myöhempi ajankohta saattaa olla merkki heittäjän hyvästä heittotekniikasta.

Voimantuottonopeuksia tarkastellaan muihin tutkimuksiin poiketen muodossa

N/s/kg, koska pohjallisten pinta-alaa ei ollut helposti saatavilla. Karkeasti arvioituna saadut tulokset ovat hiukan pienemmät kuin Vallealan (2002) tutkimuksessa. Voimantuottonopeuksista voidaan havaita heittäjien erilaiset heittotekniikat. Pojilla keihäänlätönnopeudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Kuitenkin heittäjällä P1 on hyvin suuri voimantuottonopeus tukijalalla (5092 N/s/kg) verrattuna heittäjään P2 (1063 N/s/kg). Ainoastaan parhaiden heittojen kohdalla saatiin korrelaation keihäänlätönnopeuden ja tukiaskelkontaktin voimantuottonopeuden kanssa ( $r=-.97$ ,  $p<.003$ ). Muita merkityksellisiä korrelaatioita ei löydetty. Voimantuottonopeuksista ei tämän tutkimuksen perusteella voida päätellä heittäjien paremmuutta, lähinnä kuinka hyvä tekniikka heittäjillä on.

Tutkimuksessa tarkasteltiin tukiaskelkontaktin aikaisten maksimipaineiden jakautumista jalkapohjan mediaaliselle ja lateraaliselle puolelle, sekä kannalle ja päkiälle. Mediaalisella puolella keskimääräiset maksimipaineet ilmenivät hiukan suurempina kuin lateraalisella puolella. Puolten väliset maksimipaineet eivät eronneet kuitenkaan yhtä paljon kuin Vallealan (1999) tutkimuksessa. Paineiden jakautuminen mediaaliselle ja lateraaliselle puolelle ei korreloinut merkitsevästi minkään muuttujan kanssa. Vallealan (1999) mukaan paremmat heittäjät pystyvät tuottamaan suuremmat paineet jalan etuosan alueella. Tässä tutkimuksessa ei heittäjien välillä ollut yhtä selkeitä tasoeroja tulosten valossa, mutta kuitenkin on havaittavissa että heittäjät joilla oli parempi suoritustekniikka pystyivät tuottamaan suuremmat paineet päkiän alueella. Selkeä ero voidaan paineiden jakautumisesta havaita heittäjien P1 ja P2 välillä. Heittäjällä P1 päkiällä oli 79,3 % ja heittäjällä P2 61,1 % paineesta. Kuitenkin heittäjien keihään lätönnopeudet olivat lähes samat.

### ***11.3. Tulosten kriittinen tarkastelu***

Tutkimuksessa kohderyhmät olivat verrattain pienet, jotta olisi voitu saada tilastollisesti luotettavaa tietoa. Suorituksia oli tarpeeksi jotta saatiin selkeitä korrelaatioita, mutta ne kuvaavat tutkittujen yksilöiden ominaisuuksia. Heittäjät säätelivät itsenäisesti alkuvauhtinsa. Tästä johtuen ainoastaan täydellä alkuvauhdilla tehdyt heitot

voidaan olettaa olevan vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Yksi vaihtoehtoista olisi ollut kontrolloida lähestymisnopeuksia valokennojen avulla, jolloin olisi saatu vertailukelpoisempaa dataa enemmän.

Paineita ja liikemuuttujia on aikaisemmin tutkittu ainoastaan aikuisilta, joten sopivia vertailukohteita ei oikein ollut. Nuorten tuloksia olisi saatavilla kisoista runsaasti, mutta tutkimuksen heitot tehtiin sisähallissa ja harjoituskauden aikana. Voidaan olettaa, että heitot eivät vastanneet kisoissa tehtäviä maksimisuorituksia.

Tutkimuksen aikaisista virheistä ja ongelmista suurimmaksi voidaan todeta lähestymisnopeuksien mittaaminen. Mittaus tapahtui manuaalisesti alaselkään ja varsinkin täydellä alkuvauhdilla heitettäessä virheiden määrä raakadatassa kasvoi huomattavasti.

Opinnäytetyön tekijä oli ensikertalainen suurnopeuskameroiden ja painepohjallisten datan digitoinnissa, joten siinä saattoi tulla virheitä ja epätarkkuuksia ajoituksiin. Lisäksi tuloksia käsiteltiin taulukoissa hyvin paljon ja muun muassa askelkontaktien kestoja jouduttiin arviomaan, koska paine ei mennyt täysin nollaan pohjallisissa. Kameroissa ja paineiden keruussa oli pieniä ongelmia mittaustilanteessa, mutta kyseiset suoritukset jätettiin pois tutkittavista heitoista.

## 12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tuloksena pyrittiin saamaan selville olennaisia tekijöitä keihään lähtönopeuden kannalta ja syitä ryhmien välille syntyvään tasoeroon. Jo aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu että, suuri etenemisnopeus, sekä pienet lähtö- ja hyökkäyskulmat kasvattavat keihään lähtönopeutta. Nämä muuttujat olivat myös merkityksellisiä tässä tutkimuksessa. Heittäjien paremmuuden vertailu on tämän tutkimuksen perusteella vaikeaa pelkkiä muuttujia tarkastelemalla. Keihäänheitossa jokaisella heittäjällä on yksilöllinen tekniikka, joka riippuu paljon heittäjän fyysisistä ominaisuuksista. Tässä tutkimuksessa voidaan selkeästi erottaa poikien välillä hiukan tekniiksemmin heittävä heittäjä ja enemmän voimalla heittävä heittäjä. Naiset olivat samankaltaisia heittotekniikaltaan.

Tässä tutkimuksessa havaittiin määrättyjä tekijöitä, jotka ennustavat tai kuvaavat hyvää heittotekniikkaa. Teknisesti taitavammat heittäjät tuottavat suuremmat keskimääräiset maksimipaineet päkiälle. Lisäksi tukiaskelkontaktissa tuotettu keskimääräinen maksimivoima suhteutettuna heittäjän painoon kuvaa heittäjän voimatasoa erinomaisesti. Muun muassa seuraavat tekijät ennustavat heiton onnistuneisuutta tai ovat eduksi suuren keihään lähtönopeuden kannalta:

- Lyhyt ristiaskelkontaktin kesto on yhteydessä keihään lähtönopeuteen. Tällöin ei menetetä etenemisnopeutta turhaan ja saadaan tuotettua suurempi lähtönopeus keihääseen vetovaiheessa.
- Kehon prosentuaalinen lihasmassa korreloi positiivisesti keihään lähtönopeuteen. Käytännössä tämä kuvaa heittäjän voima-nopeus-ominaisuuksia hyvin.
- Keskimääräisten maksimivoimien myöhäisempi ajoittuminen tukiaskelkontaktissa saattaa kuvata heittäjän suoritustekniikkaa hyvin.

Vaikka määrätty tekijät näyttävät kuvaavan suorituksen tasoa tulee muistaa, että keihäänheittosuoritukseen vaikuttaa lukematon määrä eri muuttujia ja jokaista heittäjää tulee tarkastella yksilönä. Tärkeää on tunnistaa heittäjän omat vahvuudet ja löytää paras mahdollinen suoritustekniikka.

Heittäjien ja valmentajien kannalta tutkimuksesta saatiin tietoa heittäjien suoritustekniikasta. Syitä naisten ja poikien erilaiseen tuloskehitykseen on tämän tutkimuksen perusteella vaikea määritellä. Todennäköisesti kyse on naisten ja miesten välisistä eroista voima-nopeus-ominaisuuksissa, jota kehon prosentuaalinen lihasmassan määrä kuvastaa. Jotta tutkimuksessa saataisiin selville eroja naisten ja poikien tutkimusjoukon pitäisi olla huomattavasti suurempi. Lisäksi mielenkiintoista voisi olla tehdä pidempi seurantatutkimus ja sisällyttää tutkimukseen lihasvoimien mittausta dynamometreillä.

## LÄHTEET

- Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. & Morris, C. 1996. Three dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Sport Biomechanics* 12, 1, 58 - 71.
- Bartlett, R., Müller, E., Rascher, C., Lindinger, S. & Jordan, C. 1995. Pressure distributions on the plantar surface of the foot during the javelin throw. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 163-176.
- Best, R., Bartlett, R. & Morriss, C. 1993. A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sports Sciences* 11. 4. 315 – 328.
- Campos, J., Brizuela, G. & Ramon, V. 2004 .Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* 19 ,2, 47-57.
- Deporte, E. & Van Gheluwe, B. 1988. Ground Reaction forces and moments in javelin throwing. Teoksessa *Biomechanics XI-B*. Toim. G. Groot, P. Hollander, P. Huijing ja G. v. I. Schenau. Amsterdam: Free University Press. 575 – 581
- FAKTAA – Suomen Yleisurheiluliitto ry. n.d. Suomen Yleisurheiluliiton kotisivut. Viitattu 8.1.2009. <http://www.sul.fi>, SUL RY, Fakta
- Gorski, J. 2003. Javelin. Teoksessa *Complete Book of Throws*. Toim. Silvester, J. Yhdysvallat, Human Kinetics Publishers, Inc. 99-110.
- Hurion, P., Dyson, R., Hale, T. & Janaway, L. 2002. Ground reaction forces occurring during the delivery stride of javelin throwing. Teoksessa *XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*. Toim. K.E. Gajdosik. 111-114.
- Ihalainen, K. 2005. Huippu-urheilu-uutiset. Helsinki, Suomen urheiluliitto. 21, 1, 30-33.
- Kehonkoostumusmittari. 2008. HUR Labs Kehonkoostumusanalysointiohjelma Käyttöohje. Viitattu 27.4.2010. [http://www.hurlabs.fi/data/File/Manuals/Tanita\\_403\\_Fin\\_Manual.pdf](http://www.hurlabs.fi/data/File/Manuals/Tanita_403_Fin_Manual.pdf)
- Kihun historia. 2009. Kilpa ja huippu-urheilun kehittämiskeskus kotisivut. Viitattu 8.1.2009. <http://www.kihu.fi>, kihun toiminta, kihun historia.
- Kihun toiminta-ajatus. 2009. Kilpa ja huippu-urheilun kehittämiskeskus kotisivut. Viitattu 8.1.2009. <http://www.kihu.fi>, kihun toiminta, kihun toiminta-ajatus.
- Kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus. 2008. Kilpa ja huippu-urheilun kehittämiskeskus kotisivut. Viitattu 8.1.2009. <http://www.kihu.fi>
- Korjus, T. 1988. Keihäänheittäjän biomekaanisten muuttujien ja alustaan kohdistuvien voimien suhteista keihään lähtönopeuteen ja -kulmaan. Pro Gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Laveg-lasertutka. manuaali. n.d. Kihun laitteen mukana tullut manuaali.
- Mero, A., Komi, P.V., Korjus, T., Navarro, E. & Gregor, R.J. 1994. Body Segment Contributions to Javelin Throwing During Final Thrust Phases. *Journal of Applied Biomechanics* 10 ,2 ,166-177
- Morriss, C., Bartlett, R. & Fowler, N. 1997. Biomechanical analysis of javelin throw at



the 1995 world championships in athletics. *New Studies in Athletics* 12 ,2, 31-42

Morriss, C. & Bartlett, R. 1994. The Height of carry of the javelin and its relationship with throwing performance. *Teoksessa The Way to Win. Proceedings of the International Congress on Applied Research in Sports. 1995. Toim. Viitasalo J. ja Kujala U. Helsinki: The Finnish Society for Research in Sport and Physical Education. 133-135*

Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. & Ito, A. 2006. Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* 21, 2, 67-80.

NAC FX K4. N.d. NAC FX K4 suurnopeuskameran tiedot. Viitattu 27.4.2010.

[http://www.nacinc.com/datasheets/Memrecam\\_fx\\_K4\\_Specification\\_Sheet.pdf](http://www.nacinc.com/datasheets/Memrecam_fx_K4_Specification_Sheet.pdf)

Pedar-X. 2008. Novelin Pedar-X esite. Viitattu 27.4.2010.

[http://www.novel.de/pdf/flyer/eng/pedarX\\_eng.pdf](http://www.novel.de/pdf/flyer/eng/pedarX_eng.pdf)

Pedar-X tuotesivu. n.d. Novelin kotisivujen tuoteinfo. Viitattu 27.4.2010.

<http://www.novel.de/systems-pedar>

Salo, A. & Viitasalo, J.T. 1994. Influence of javelin release parameters on the range of throw. *Teoksessa The Way to Win. Proceedings of the International Congress on Applied Research in Sports. 1995. Toim. Viitasalo J. ja Kujala U. Helsinki: The Finnish Society for Research in Sport and Physical Education. 137-140*

Stander, R. a. n.d. Athletics omnibus – Javelin Throw, South Africa. Viitattu 7.2.2010.

<http://www.bolandathletics.com>, Education outreach, Coaching techniques, Javelin throw.

Stander, R. b. n.d. Athletics omnibus - The Difference between men and women, South Africa. Viitattu 7.2.2010. <http://www.bolandathletics.com>, Education outreach, Before you can coach, Difference between men and women.

SUL 100 VUOTTA. n.d. Suomen Yleisurheiluliiton kotisivut. Viitattu 8.1.2009.

[Http://www.sul.fi](http://www.sul.fi), SUL 100 vuotta

Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H. & Gomi, K. 2008. Biomechanical analysis of elite javelin throwing technique at the 2007 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics* 23, 1-4, Viitattu 8.1.2010

[http://www.keihaskarnevaalit.com/images/Keihas\\_biomek%20analyysi\\_Osaka2007.pdf](http://www.keihaskarnevaalit.com/images/Keihas_biomek%20analyysi_Osaka2007.pdf)

Tidow, G. 2008. The Javelin Throw: Model Technique Analysis Sheets. *Modern Athlete & Coach* 46, 1, 30-42

Utriainen, E. 1987. Keihäänheitto. Viitasaari: Suomen Urheiluliitto.

Valleala, R. 1999. Plantaaristen paineiden yhteys keihäänheiton biomekaanisiin muuttujiin. *Cumu-työ. Jyväskylän yliopisto.*

Valleala, R. 2002. Keihäänheittosuorituksen biomekaaniset muuttujat ja niiden yksilöllisyys kahden eri heittäjän suorituksissa. *Pro Gradu – tutkielma. Jyväskylän yliopisto.*

Viitasalo, J., Mononen, H. & Norvapalo, K. 2003. Release parameters at the foul line and the official result in javelin throwing. *Sports Biomechanics* 2, 1, 15-34.

## LIITTEET

### *Liite 1 : Eri lähestymisnopeuksien keskiarvojen muuttujat heittäjillä.*

	Suoritus	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)	Fmax Tj (N)	tFmax Tj %	maxFtuo Tj (N/s/kg)	tKon Tj (s)	Fmax Rj (N)	tFmax Rj %	tKon Rj (S)
<b>N2</b>	<b>Hidas</b>	15,24	34,6	2,7	-4,5	1,91	3,00	3,17	2,20	1367,4	0,06	3105	0,138	816,0	0,41	0,496
	<b>Keski</b>	16,22	33,7	0,7	-5,2	1,89	3,78	3,95	2,50	1913,1	0,06	3593	0,142	1096,2	0,20	0,473
	<b>Nopea</b>	16,55	33,6	-0,8	-6,8	1,86	4,61	4,31	2,73	2192,1	0,06	3905	0,133	1248,0	0,25	0,514
<b>P2</b>	<b>Hidas</b>	17,03	32,1	0,7	-35,7	2,05	3,80	4,14	2,50	2091,7	0,22	707	0,167	961,0	0,24	0,636
	<b>Keski</b>	17,10	32,2	0,5	-45,5	2,00	4,61	4,88	2,56	2139,0	0,21	803	0,163	986,8	0,26	0,490
	<b>Nopea</b>	17,68	31,0	-2,1	-38,5	1,99	4,63	5,11	2,35	2638,6	0,21	1063	0,155	1021,6	0,28	0,445
<b>P1</b>	<b>Hidas</b>	17,04	29,2	-2,7	-15,2	1,68	3,40	3,85	2,19	2629,5	0,10	3536	0,123	1082,5	0,37	0,505
	<b>Keski</b>	17,10	31,3	-5,8	-14,1	1,70	3,96	4,44	2,96	3132,5	0,12	3444	0,122	1199,9	0,35	0,558
	<b>Nopea</b>	17,63	30,8	-2,8	-16,0	1,73	4,30	4,44	2,55	3459,7	0,10	5092	0,126	1302,0	0,37	0,512
<b>N1</b>	<b>Hidas</b>	14,92	33,5	0,6	-24,8	1,75	3,17	3,43	2,30	2423,5	0,08	2694	0,159	1478,9	0,20	0,695
	<b>Keski</b>	15,15	33,3	1,7	-26,4	1,73	3,81	4,55	2,87	2708,9	0,08	3209	0,160	1599,7	0,18	0,688
	<b>Nopea</b>	15,88	31,8	0,4	-22,1	1,71	4,68	4,64	2,61	3223,2	0,06	5248	0,147	1884,0	0,15	0,645

**Liite 2: Korrelaatiot kaikista heittosuorituksista (n=52)**

	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)	Fmax TJ	tFmax TJ %	maxFtu o TJ	tKon TJ	Fmax RJ	tFmax Rj %	tKon RJ	Flat % TJ	Fmed % TJ	Fkanta % TJ	Fpäk % TJ	Lihasm assa kg	Lihasma sa %
Vres (m/s)	1,00																				
Kläh (ast.)	-0,56	1,00																			
Khyö (ast.)	-0,60	0,59	1,00																		
Ksiv. (ast.)	-0,28	0,21	-0,04	1,00																	
Dh. (m)	0,23	0,22	0,34	-0,40	1,00																
Vh1 (m/s)	0,52	-0,27	-0,23	-0,32	0,10	1,00															
Vh2 (m/s)	0,48	-0,29	-0,27	-0,44	0,07	0,66	1,00														
Vh3 (m/s)	0,05	0,04	-0,26	0,00	-0,10	0,18	0,25	1,00													
Fmax TJ	0,38	-0,47	-0,57	-0,13	-0,60	0,39	0,43	0,23	1,00												
tFmax TJ %	0,58	-0,35	-0,15	-0,77	0,61	0,28	0,36	-0,01	-0,02	1,00											
maxFtuo TJ	-0,26	0,08	-0,08	0,54	-0,62	0,03	-0,09	0,07	0,38	-0,82	1,00										
tKon TJ	-0,22	0,28	0,54	-0,67	0,54	0,00	0,20	0,04	-0,27	0,44	-0,49	1,00									
Fmax RJ	-0,32	-0,01	-0,02	0,00	-0,62	0,24	0,20	0,26	0,59	-0,40	0,53	0,03	1,00								
tFmax Rj %	0,19	-0,15	-0,15	0,19	-0,01	-0,13	-0,15	-0,15	-0,04	0,03	-0,11	-0,36	-0,41	1,00							
tKon RJ	-0,41	0,14	0,21	-0,13	-0,24	-0,21	-0,13	0,07	0,14	-0,08	0,07	0,38	0,53	-0,43	1,00						
Flat % TJ	0,21	-0,17	0,12	-0,50	0,47	0,11	0,25	0,00	-0,18	0,49	-0,42	0,42	-0,21	0,02	0,02	1,00					
Fmed % TJ	-0,21	0,17	-0,12	0,50	-0,47	-0,11	-0,25	0,00	0,18	-0,49	0,42	-0,42	0,21	-0,02	-0,02	-1,00	1,00				
Fkanta % TJ	-0,16	0,12	0,33	-0,49	0,31	0,04	0,11	-0,15	-0,04	0,31	-0,30	0,55	0,13	-0,27	0,26	0,10	-0,10	1,00			
Fpäk % TJ	0,16	-0,12	-0,33	0,49	-0,31	-0,04	-0,11	0,15	0,04	-0,31	0,30	-0,55	-0,13	0,27	-0,26	-0,10	0,10	-1,00	1,00		
Lihasmassa kg	0,40	-0,10	0,14	-0,81	0,82	0,30	0,37	-0,07	-0,23	0,87	-0,70	0,66	-0,40	-0,11	-0,09	0,58	-0,58	0,47	-0,47	1,00	
Lihasmassa %	0,78	-0,57	-0,68	0,02	-0,09	0,07	0,14	0,00	0,34	0,35	-0,14	-0,53	-0,43	0,44	-0,41	0,01	-0,01	-0,46	0,46	0,03	1,00

**Liite 3: Korrelaatiot parhaista heittosuorituksista (n=4)**

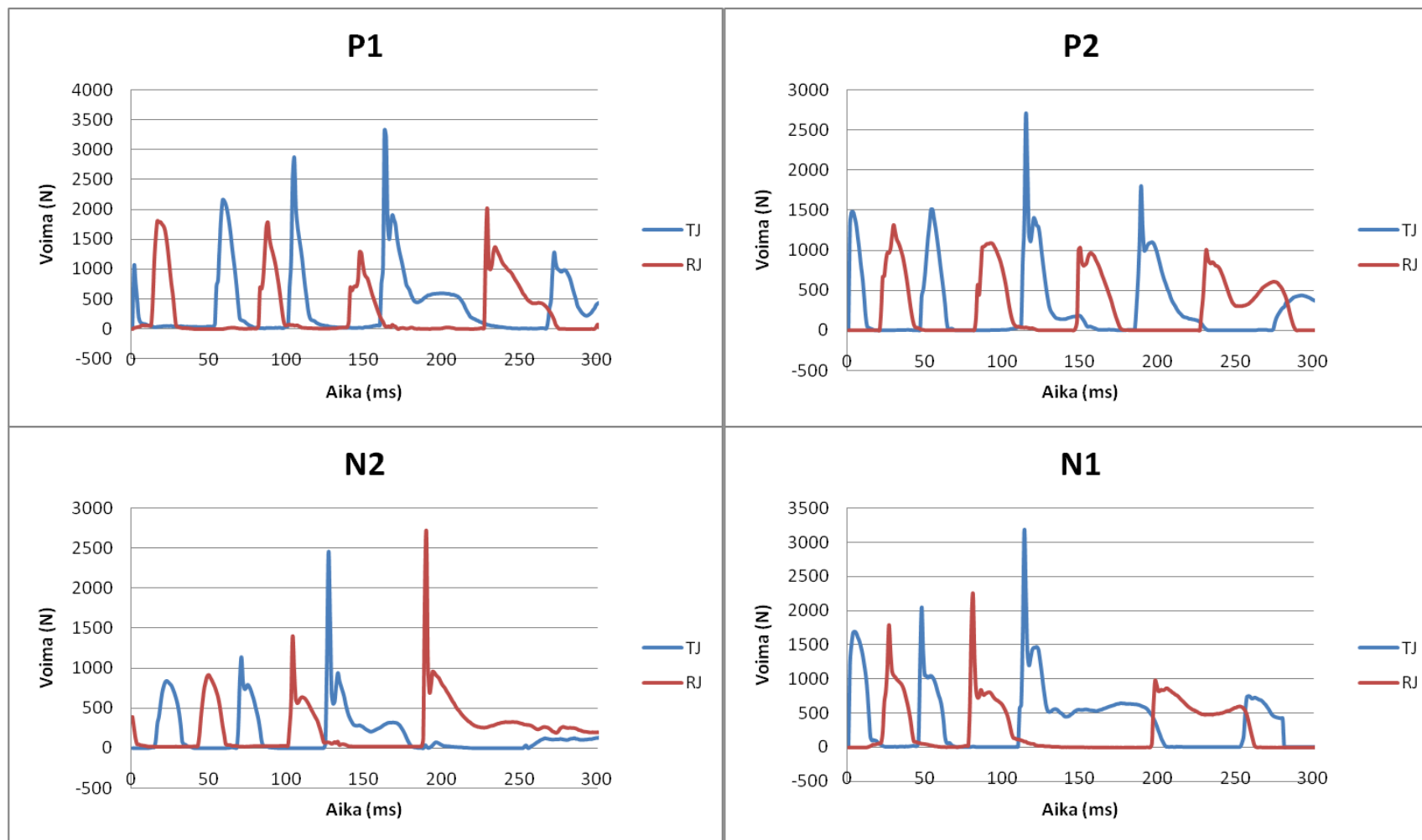
	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)	Fmax TJ	tFmax TJ %	maxFtu o TJ	tKon TJ	Fmax RJ	tFmax Rj %	maxFtu o RJ	tKon RJ	Flat % TJ	Fmed % TJ	Fkanta % TJ	Fpäk % TJ	Lihasm assa kg	Lihasma ssa %
Vres (m/s)	1,00																					
Kläh (ast.)	-0,08	1,00																				
Khyö (ast.)	<b>-0,73</b>	<b>0,73</b>	1,00																			
Ksiv. (ast.)	<b>-0,65</b>	0,19	0,46	1,00																		
Dh. (m)	0,39	<b>0,80</b>	0,33	-0,42	1,00																	
Vh1 (m/s)	-0,18	-0,96	-0,51	-0,11	<b>-0,84</b>	1,00																
Vh2 (m/s)	0,34	-0,56	-0,49	<b>-0,87</b>	-0,02	0,55	1,00															
Vh3 (m/s)	<b>-0,86</b>	0,58	<b>0,97</b>	0,60	0,11	-0,35	-0,53	1,00														
Fmax TJ	0,13	<b>-0,99</b>	-0,73	-0,33	<b>-0,72</b>	<b>0,95</b>	<b>0,68</b>	-0,61	1,00													
tFmax TJ %	<b>0,97</b>	-0,16	-0,72	-0,82	0,40	-0,06	<b>0,56</b>	-0,86	0,24	1,00												
maxFtuo TJ	<b>-0,97</b>	-0,17	0,53	0,65	-0,61	0,40	-0,25	0,70	0,11	<b>-0,93</b>	1,00											
tKon TJ	-0,10	0,17	0,32	-0,65	0,47	-0,02	<b>0,65</b>	0,21	-0,02	0,14	-0,01	1,00										
Fmax RJ	<b>-0,93</b>	-0,23	0,43	<b>0,73</b>	<b>-0,71</b>	0,44	-0,32	0,62	0,15	-0,92	<b>0,99</b>	-0,18	1,00									
tFmax Rj %	<b>0,87</b>	-0,37	<b>-0,89</b>	-0,31	-0,06	0,09	0,14	<b>-0,91</b>	0,34	0,76	-0,74	-0,52	-0,62	1,00								
maxFtuo RJ	<b>-0,98</b>	-0,02	0,67	0,51	-0,41	0,29	-0,15	<b>0,80</b>	0,00	<b>-0,90</b>	0,96	0,24	<b>0,90</b>	<b>-0,89</b>	1,00							
tKon RJ	<b>-0,91</b>	-0,15	0,56	0,31	-0,42	0,42	0,08	0,68	0,16	-0,78	0,92	0,38	0,84	<b>-0,86</b>	<b>0,97</b>	1,00						
Flat % TJ	-0,67	-0,59	0,11	0,08	-0,67	<b>0,79</b>	0,40	0,26	0,60	-0,50	0,78	0,32	0,74	-0,54	<b>0,78</b>	<b>0,88</b>	1,00					
Fmed % TJ	<b>0,67</b>	0,59	-0,11	-0,08	0,67	-0,79	-0,40	-0,26	-0,60	0,50	-0,78	-0,32	-0,74	0,54	-0,78	-0,88	-1,00	1,00				
Fkanta % TJ	0,35	0,21	0,03	-0,87	0,68	-0,18	<b>0,70</b>	-0,14	-0,05	0,54	-0,46	<b>0,89</b>	-0,60	-0,12	-0,22	-0,07	-0,06	0,06	1,00			
Fpäk % TJ	-0,35	-0,21	-0,03	<b>0,87</b>	-0,68	0,18	<b>-0,70</b>	0,14	0,05	-0,54	0,46	-0,89	0,60	0,12	0,22	0,07	0,06	-0,06	-1,00	1,00		
Lihasmassa kg	0,52	0,26	-0,05	<b>-0,89</b>	<b>0,76</b>	-0,29	0,63	-0,25	-0,12	0,67	-0,63	0,79	-0,75	0,04	-0,41	-0,27	-0,25	0,25	0,98	-0,98	1,00	
Lihasmassa %	<b>0,86</b>	-0,38	<b>-0,89</b>	-0,31	-0,07	0,11	0,15	<b>-0,92</b>	0,36	<b>0,76</b>	<b>-0,73</b>	-0,52	-0,62	<b>1,00</b>	<b>-0,88</b>	<b>-0,85</b>	-0,52	0,52	-0,13	0,13	0,03	1,00

**Liite 4: Korrelaatiot poikien kaikista heitoista (n=26)**

	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)	Fmax TJ	tFmax TJ %	maxFtu o TJ	tKon TJ	Fmax RJ	tFmax Rj %	tKon RJ	Flat % TJ	Fmed % TJ	Fkanta % TJ	Fpäk % TJ	Lihasm assa kg	Lihasma sa %
Vres (m/s)	1,00																				
Kläh (ast.)	-0,08	1,00																			
Khyö (ast.)	-0,20	0,37	1,00																		
Ksiv. (ast.)	0,00	-0,45	<b>-0,66</b>	1,00																	
Dh. (m)	-0,05	0,44	<b>0,70</b>	<b>-0,91</b>	1,00																
Vh1 (m/s)	0,44	0,15	0,15	-0,51	0,32	1,00															
Vh2 (m/s)	0,38	0,19	0,07	-0,33	0,27	<b>0,61</b>	1,00														
Vh3 (m/s)	-0,10	0,13	-0,45	0,16	-0,07	-0,01	0,01	1,00													
Fmax TJ	0,47	-0,15	-0,64	<b>0,66</b>	<b>-0,71</b>	0,03	0,06	0,24	1,00												
tFmax TJ %	-0,14	0,33	0,60	<b>-0,85</b>	<b>0,91</b>	0,36	0,18	-0,06	<b>-0,72</b>	1,00											
maxFtuo TJ	0,20	-0,27	-0,53	<b>0,75</b>	<b>-0,76</b>	-0,15	-0,06	0,16	<b>0,78</b>	<b>-0,91</b>	1,00										
tKon TJ	-0,09	0,49	0,73	<b>-0,85</b>	<b>0,92</b>	0,21	0,30	-0,11	<b>-0,68</b>	<b>0,84</b>	<b>-0,74</b>	1,00									
Fmax RJ	0,26	-0,12	<b>-0,58</b>	<b>0,64</b>	<b>-0,66</b>	0,01	-0,14	0,22	<b>0,73</b>	<b>-0,67</b>	<b>0,75</b>	<b>-0,70</b>	1,00								
tFmax Rj %	0,18	-0,36	-0,40	0,54	<b>-0,69</b>	0,00	-0,07	-0,07	<b>0,56</b>	<b>-0,61</b>	0,54	<b>-0,63</b>	0,30	1,00							
tKon RJ	-0,31	0,31	0,20	0,11	0,15	-0,47	-0,40	0,11	-0,25	0,17	-0,22	0,21	-0,06	-0,42	1,00						
Flat % TJ	-0,09	0,28	0,51	-0,58	<b>0,64</b>	0,18	0,23	-0,10	<b>-0,65</b>	<b>0,53</b>	-0,54	<b>0,58</b>	-0,56	-0,48	0,08	1,00					
Fmed % TJ	0,09	-0,28	-0,51	<b>0,58</b>	-0,64	-0,18	-0,23	0,10	<b>0,65</b>	-0,53	0,54	-0,58	0,56	0,48	-0,08	<b>-1,00</b>	1,00				
Fkanta % TJ	0,20	0,19	0,43	-0,70	<b>0,70</b>	0,39	0,32	-0,15	-0,32	<b>0,67</b>	-0,54	<b>0,59</b>	-0,48	-0,44	-0,14	0,13	-0,13	1,00			
Fpäk % TJ	-0,20	-0,19	-0,43	<b>0,70</b>	-0,70	-0,39	-0,32	0,15	0,32	-0,67	0,54	-0,59	0,48	0,44	0,14	-0,13	0,13	<b>-1,00</b>	1,00		
Lihasma sa kg	-0,05	0,40	<b>0,68</b>	<b>-0,94</b>	<b>0,98</b>	0,37	0,34	-0,11	-0,73	<b>0,91</b>	<b>-0,79</b>	<b>0,92</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,67</b>	0,05	0,63	-0,63	0,76	<b>-0,76</b>	1,00	
Lihasma sa %	0,05	-0,40	<b>-0,68</b>	<b>0,94</b>	<b>-0,98</b>	-0,37	-0,34	0,11	<b>0,73</b>	<b>-0,91</b>	<b>0,79</b>	<b>-0,92</b>	<b>0,72</b>	<b>0,67</b>	-0,05	-0,63	0,63	-0,76	<b>0,76</b>	<b>-1,00</b>	1,00

**Liite 5: Korrelaatiot naisten kaikista heitoista (n=26)**

	Vres (m/s)	Kläh (ast.)	Khyö (ast.)	Ksiv. (ast.)	Dh. (m)	Vh1 (m/s)	Vh2 (m/s)	Vh3 (m/s)	Fmax TJ	tFmax TJ %	maxFtu o TJ	tKon TJ	Fmax RJ	tFmax Rj %	tKon RJ	Flat % TJ	Fmed % TJ	Fkanta % TJ	Fpäk % TJ	Lihasm assa kg	Lihasmas sa %
Vres (m/s)	1,00																				
Kläh (ast.)	-0,14	1,00																			
Khyö (ast.)	-0,45	0,42	1,00																		
Ksiv. (ast.)	<b>0,50</b>	0,34	0,01	1,00																	
Dh. (m)	0,38	0,46	0,08	<b>0,91</b>	1,00																
Vh1 (m/s)	<b>0,71</b>	-0,48	-0,49	-0,03	-0,27	1,00															
Vh2 (m/s)	0,36	-0,41	-0,33	-0,34	-0,43	<b>0,67</b>	1,00														
Vh3 (m/s)	0,23	-0,06	-0,15	-0,21	-0,17	0,34	0,52	1,00													
Fmax TJ	0,04	-0,59	-0,31	<b>-0,71</b>	-0,82	0,58	<b>0,61</b>	0,25	1,00												
tFmax TJ %	-0,11	-0,13	-0,09	-0,28	-0,18	-0,06	0,15	0,14	0,18	1,00											
maxFtuo TJ	0,20	-0,24	-0,20	-0,12	-0,32	0,42	0,23	-0,04	0,44	<b>-0,76</b>	1,00										
tKon TJ	<b>-0,56</b>	-0,07	0,26	-0,76	<b>-0,60</b>	-0,22	0,17	0,30	0,40	0,39	-0,27	1,00									
Fmax RJ	-0,04	<b>-0,54</b>	-0,22	<b>-0,78</b>	<b>-0,87</b>	0,49	<b>0,63</b>	0,33	0,95	0,22	0,36	0,51	1,00								
tFmax Rj %	-0,11	0,23	0,29	0,37	0,46	-0,28	-0,38	-0,21	-0,46	-0,06	-0,31	-0,26	-0,48	1,00							
tKon RJ	-0,42	-0,35	-0,05	<b>-0,76</b>	<b>-0,78</b>	0,03	0,21	0,04	<b>0,63</b>	0,24	0,13	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>	-0,40	1,00						
Flat % TJ	-0,11	-0,39	0,06	-0,10	-0,07	-0,09	0,07	0,14	0,11	-0,02	0,03	0,17	0,15	0,19	0,14	1,00					
Fmed % TJ	0,11	0,39	-0,06	0,10	0,07	0,09	-0,07	-0,14	-0,11	0,02	-0,03	-0,17	-0,15	-0,19	-0,14	<b>-1,00</b>	1,00				
Fkanta % TJ	-0,42	-0,08	0,14	-0,51	-0,50	-0,23	-0,03	-0,16	0,36	0,43	-0,11	0,46	0,44	-0,20	<b>0,66</b>	0,16	-0,16	1,00			
Fpäk % TJ	0,42	0,08	-0,14	0,51	0,50	0,23	0,03	0,16	-0,36	-0,43	0,11	-0,46	-0,44	0,20	-0,66	-0,16	0,16	<b>-1,00</b>	1,00		
Lihasmassa kg	-0,52	-0,42	0,01	-0,94	-0,92	0,07	0,31	0,13	0,79	0,31	0,15	0,76	0,84	-0,36	0,84	0,22	-0,22	0,62	-0,62	1,00	
Lihasmassa %	<b>0,52</b>	0,42	-0,01	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>	-0,07	-0,31	-0,13	<b>-0,79</b>	-0,31	-0,15	<b>-0,76</b>	<b>-0,84</b>	0,36	<b>-0,84</b>	-0,22	0,22	<b>-0,62</b>	<b>0,62</b>	<b>-1,00</b>	1,00

**Liite 6: Heittäjien parhaiden suoritusten painekäyrät**

***Liite 7: Heittäjien henkilökohtaiset korrelaatiot keihään lähtönopeuden kanssa***

	<b><i>P1</i></b>	<b><i>N2</i></b>	<b><i>P2</i></b>	<b><i>N1</i></b>
Kläh (ast.)	0,03	-0,53	-0,18	-0,40
Khyö (ast.)	0,13	<b>-0,76</b>	<b>-0,56</b>	-0,13
Ksiv. (ast.)	-0,36	-0,25	0,02	0,44
Dh. (m)	<b>0,76</b>	-0,33	-0,40	-0,21
Vh1 (m/s)	<b>0,67</b>	<b>0,89</b>	0,36	<b>0,86</b>
Vh2 (m/s)	0,21	<b>0,86</b>	0,55	0,38
Vh3 (m/s)	-0,03	<b>0,55</b>	-0,24	-0,05
Fmax TJ	<b>0,76</b>	<b>0,91</b>	0,56	<b>0,82</b>
tFmax TJ %	0,02	0,37	-0,51	-0,43
maxFtuo TJ	0,30	0,05	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>
tKon TJ	0,40	-0,04	-0,30	<b>-0,73</b>
Fmax RJ	0,44	<b>0,95</b>	0,22	<b>0,73</b>
tFmax Rj %	0,22	-0,41	0,19	<b>-0,58</b>
tKon RJ	-0,28	0,16	-0,33	-0,24
Flat % TJ	0,16	-0,22	-0,13	0,38
Fmed % TJ	-0,16	0,22	0,13	-0,38
Fkanta % TJ	0,24	-0,30	0,43	-0,21
Fpäk % TJ	-0,24	0,30	-0,43	0,21